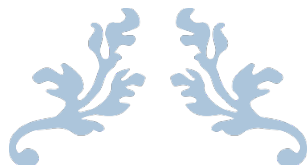




UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA


Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



DISEÑO, CREACIÓN VIRTUAL Y ANÁLISIS DINÁMICO DE RÉPLICA DE LA CARABINA M4 DE GAS COMPRIMIDO

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



Autor: Héctor Giner Vadillo

Tutor: Javier Carballeira Morado

Valencia, junio/2018

Documentos:

I. Memoria descriptiva

II. Pliego de condiciones

III. Planos

IV. Presupuesto

Dedicado a mi familia,
por su apoyo incondicional
a lo largo de mi vida y mis decisiones.

Gracias a mis compañeros,
por los últimos cuatro años de experiencias.

Gracias a mi tutor Javier,
por saber orientarme cuando no encontraba el camino.

“Sé realista, exige lo imposible”

I. Memoria

Descriptiva

Índice general:

1.	Introducción.....	10
	1.1 Resumen.....	10
	1.2 Motivación.....	10
	1.3 Objeto.....	10
2.	Antecedentes.....	12
	2.1 Historia.....	12
	2.2 Estudio del arte.....	14
	2.3 Tenencia lícita.....	15
	2.4 Clasificación por sistemas de propulsión de proyectil.....	17
	2.5 Aplicaciones de las armas de gas comprimido	22
	2.6 Comportamiento del dióxido de carbono a presión.....	26
	2.7 Estudio de mercado.....	29
3.	Diseño CAD.....	35
	3.1 Condiciones de diseño.....	35
	3.2 Creación virtual	37
	3.2.1 Resumen de diseño.....	37
	3.2.2 Sistema neumático.....	39
	3.2.3 Cilindro de alta presión.....	39
	3.2.4 Cargador.....	45
	3.2.5 Mecanismo Disparador.....	46
	3.2.6 Cañón.....	47
	3.2.7 Ensamblado.....	48
4.	Diseño CAE.....	51
	4.1 Introducción.....	51
	4.2 Problema dinámico.....	52
	4.3 Formulación dinámica.....	53
	4.4 Cálculos preliminar.....	55
	4.5 Diseño.....	58
	4.6 Montaje pares cinemáticos.....	59
	4.7 Montaje resortes.....	61
	4.8 Enfoque dinámico inverso.....	62
	4.9 Enfoque dinámico directo.....	69
5.	Conclusión.....	74
6.	Bibliografía.....	75

1. Introducción

1.1 Resumen:

Como objeto de proyecto, se realizará el diseño CAD-CAE de un arma de gas comprimido que podrá ser usada para la práctica de Airsoft, entre otras aplicaciones de ocio. Dicha arma será una réplica de la conocida carabina M4. Para ello, debemos estudiar el ámbito y aplicaciones de las armas de gas comprimido en la actualidad.

1.2 Motivación:

Actualmente, se está modernizando la aplicación de las armas de aire comprimido para su aplicación recreativa o deportiva. Dichas armas están presentes en nuestra sociedad, en forma de Paintball o Airsoft. Estas son las aplicaciones más comunes en el ámbito civil.

Las armas de aire comprimido también están presentes en otros ámbitos como en los Juegos Olímpicos. Además, pueden ser utilizadas durante el entrenamiento militar para así abaratar el coste del adiestramiento de nuestros soldados.

En este proyecto se ha querido fabricar una réplica de la carabina M4 completamente operativa desde cero, afrontando todos los problemas que esto conlleva. Además, se ha tratado de innovar en cuanto a su mecanismo de funcionamiento diferenciando así dicha réplica de las que se encuentran actualmente en el mercado.

Se ha elegido realizar este proyecto por la posibilidad de crear un arma de gas comprimido operativa desde su planteamiento de diseño inicial hasta su posterior análisis en el mercado actual, poniendo así a prueba los conocimientos adquiridos durante mi formación en la escuela y dirigiendo un proyecto por vocación.

1.3 Objeto:

Al tratarse de un proyecto que abarca aspectos de diferente índole, consideramos una serie de objetivos que podrían agruparse en 4 grandes grupos de la siguiente forma: Estudio del arte, estudio de mercado, diseño y análisis.

Por tanto, enumeramos los siguientes objetivos:

- Realizar un estudio sobre la diversidad de carabinas de aire comprimido y sus aplicaciones en la actualidad con el fin de proceder al diseño de una carabina competente e innovadora dentro del panorama actual.

- Diseño de una réplica de la carabina M4, también conocida comúnmente como AR-15, con la mayor fidelidad posible adecuando sus requisitos operativos y con el menor coste económico.

- Creación virtual de la réplica de la carabina M4.

- Análisis dinámico de la réplica en cuestión, con el fin de conocer las prestaciones y limitaciones técnicas de la réplica creada.

Cabe mencionar que los objetivos enunciados no suponen un límite durante la realización del proyecto, se mantiene una predisposición a ampliar el proyecto con investigaciones adicionales con el fin de mejorar la operatividad del arma.

2. Antecedentes

2.1 Resumen:

Con el objetivo de comprender el entorno social y las necesidades que han promovido la aparición de armamento accionado por gas comprimido debemos echar un vistazo a como el hombre desarrollo sus primeras herramientas de defensa y caza.

Siguiendo esta línea, debemos hacer mención a la cerbatana. Primera arma que impulsa el proyectil mediante la potencia que ofrece el aire impulsado. Como bien sabemos, la evolución ha sido amplia y ha ido de la mano de la innovación tecnológica.



Figura 2.1 – Cerbatana

Nos remontamos al siglo XVI cuando aparecen los primeros rifles y pistolas de aire comprimido. La primera arma de aire comprimido que se conserva se haya en el Museo Livrustkammaren de Estocolmo, se trata de una carabina de muelle. Este será el encargado de comprimir el aire existente dentro del cilindro del arma, que posteriormente será expulsado aprovechando así la fuerza de este para dar impulso al proyectil. Este sistema de muelle, junto con el sistema de aire pre comprimido (de ahora en adelante, PCP) forman los dos sistemas de armas de aire más usados desde su inicio.

Debido a su alto coste, fueron usados por la nobleza en la aplicación de la caza mayor. En aquel momento, las armas de aire presentaban ventajas frente a las armas de fuego. Estas podían ser usadas bajo condiciones meteorológicas adversas, con mayor cadencia

de disparo y eran más silenciosas que las armas de fuego.

Por su parte las armas de fuego usadas en aquella época requerían de un largo proceso de preparación antes de ejecutar cada disparo, que podríamos desglosar en introducción de la pólvora, del papel para prender, de la pólvora y la baqueta. Además, emitían un humo denso que dificultaba el camuflaje del tirador y a su vez emitían un sonoro disparo.

Aquellas ventajas, popularizaron el modelo de la carabina Girandoni. Un arma de aire comprimido creada en 1780 para el ejército austriaco que podía efectuar hasta 20 disparos por minuto, siendo así considerada por estudiosos de la materia como la primera arma de PCP. Se conoce que aquellas armas eran capaces de disparar munición de 12,8mm a más de 300m/s, además de poseer mayor precisión que las armas usadas por el ejército de Napoleón.



Figura 2.2 - Carabina Girandoni

Fue en el siglo XIX cuando los usos de las armas de aire comprimido fueron desbancados por las armas de fuego en entornos bélicos. Las carabinas de PCP requerían de caros depósitos que conllevan el riesgo de explosión, y a su vez engorrosos de manejar. Otra desventaja de dichas armas era que requerían conocimientos de mecánica que no todos los soldados poseían.

Por tanto, las aplicaciones de las armas de aire comprimido quedaron limitadas al deporte y ocio. En la década del 1890, aparece en Gran Bretaña la primera Asociación Nacional del Rifle de Aire.

El tiro deportivo apareció en los Juegos Olímpicos de Grecia de 1896 y se incluyeron las armas de aire como una modalidad hasta 1984.

La aplicación del CO₂ en las armas de aire se remonta al 1859 a la inventiva de Paul Gifford, investigador e inventor francés. Aparece en forma de pistola con un calibre de entre 6 y 8 mm con una autonomía de 300 disparos.

Durante el siglo XX, tras la segunda guerra mundial en Alemania se prohíbe expresamente la fabricación de armas de fuego. Lo que conlleva al desarrollo tecnológico de las armas de aire comprimido para su aplicación en la caza.

2.2 Estudio del arte:

Principalmente el mercado actual de fusiles y carabinas accionadas por mecanismos diferentes al de fuego, se encuentra predominado por accionamientos eléctricos. En ellos se utiliza un motor, que accionando un conjunto de engranajes dará el movimiento de corredera al cañón del arma en cuestión. Comúnmente denominados Airsoft Electric Gun (de ahora en adelante, AEG). Dichas réplicas no consiguen ser fieles al modelo inicial, por tanto, encontramos una necesidad en el mercado que intento cubrir en este proyecto. Existen varios aspectos que los clientes remarcan a mejorar. Por una parte, los modelos AEG emiten un sonido que difiere significativamente del emitido por las armas de fuego originales. Además, en las AEG es difícil conseguir un retroceso comparable al de las armas originales. Sí es cierto que existe el mecanismo Electric Blowback (de ahora en adelante, EBB). Aun así, un arma de fuego posee retroceso lineal en el cañón debido a la reconducción de gases en este mismo, por lo tanto, en una réplica accionada por gas comprimido podemos conseguir mayor fidelidad de prestaciones.

En líneas generales, encontramos que las armas de gas o aire comprimido pueden reproducir con mayor fidelidad el manejo de sus armas originales. En las réplicas de gas, al acerrojarla/amartillarla, aparte de meter una nueva bola del cargador en la recámara, el percutor se coloca en posición de golpear la válvula de salida. Y al apretar el gatillo, la válvula es golpeada y se abre lo justo para expulsar una cantidad de gas en expansión, que es lo que impulsa a la bola. En las semiautomáticas (pistolas y fusiles de precisión) además de disparar el proyectil la fuerza del gas mueve el cerrojo hacia atrás, preparando un nuevo proyectil y el percutor para efectuar un nuevo disparo con una pulsación de gatillo. Dicho mecanismo es utilizado generalmente en pistolas, pero es escaso en la aplicación de carabinas y fusiles por su dificultad en la aplicación.

2.3 Tenencia lícita:

Los cuerpos de la Guardia Civil según sus criterios amparados en el Real Decreto establecen:

Se entenderá por armas y armas de fuego reglamentadas, cuya adquisición, tenencia y uso pueden ser autorizados o permitidos con arreglo a lo dispuesto en el Reglamento de Armas (Real Decreto 137/1993, de 29 de enero, BOE 55/1993), los objetos que, teniendo en cuenta sus características, grado de peligrosidad y destino o utilización, se enumeran y clasifican en las siguientes categorías:

1ª Categoría: Armas de fuego cortas, comprende las **pistolas y revólveres**.

2ª Categoría:

- **2.1: Armas de fuego largas para vigilancia y guardería:** Son las armas largas que reglamentariamente se determinen por Orden del Ministerio del Interior o mediante decisión adoptada a propuesta o de conformidad con el mismo, como específicas para desempeñar funciones de vigilancia y guardería.
- **2.2: Armas de fuego largas rayadas:** Son las armas utilizadas para la caza mayor. También comprende los cañones estriados adaptables a escopetas de caza, con recámara para cartuchos metálicos, siempre que, en ambos supuestos, no estén clasificadas como armas de guerra.

3ª Categoría:

- **3.1: Armas de fuego largas rayadas para tipo deportivo**, de calibre 5,6 milímetros (22 americano), de percusión anular, de un disparo, de repetición o semiautomáticas.
- **3.2: Escopetas y demás armas de fuego largas de ánima lisa**, o que tengan cañón con rayas para facilitar el plomeo, que los bancos de pruebas reconocidos hayan marcado con punzón de escopeta de caza, no incluidas entre las armas de guerra.
- **3.3: Armas accionadas por aire u otro gas comprimido**, sean lisas o rayadas, siempre que la energía cinética del proyectil en boca exceda de 24,2 julios.

4ª Categoría:

- **4.1: Carabinas y pistolas, de tiro semiautomático y de repetición;** y revólveres de doble acción, accionadas por aire u otro gas comprimido no asimiladas a escopetas.
- **4.2: Carabinas y pistolas, de ánima lisa o rayada, y de un solo tiro, y revólveres de acción simple**, accionadas por aire u otro gas comprimido no asimiladas a escopetas.

5ª Categoría:

- **5.1:** Las **armas blancas** y en general las de hoja cortante o punzante no prohibidas.
- **5.2:** Los **cuchillos o machetes** usados por unidades militares o que sean imitación de los mismos.

6ª Categoría:

- **6.1: Armas de fuego antiguas o históricas**, sus reproducciones y asimiladas, conservadas en museos autorizados por el Ministerio de Defensa, si son dependientes de cualquiera de los tres Ejércitos, y por el Ministerio del Interior, en los restantes casos.
- **6.2:** Las **armas de fuego cuyo modelo o cuyo año de fabricación sean anteriores al 1 de enero de 1890**, y las reproducciones o réplicas de las mismas, a menos que puedan disparar municiones destinadas a armas de guerra o a armas prohibidas. La antigüedad será fijada por el Ministerio de Defensa, que aprobará los prototipos o copias de los originales, comunicándolo a la Dirección General de la Guardia Civil.
- **6.3:** Las **restantes armas de fuego** que se conserven por su carácter histórico o artístico.
- **6.4:** En general, las **armas de avancarga** (la pólvora y el proyectil son introducidos por la boca del cañón y el sistema de ignición puede ser una capsula fulminante, pólvora más fina y un pedernal, o un sofisticado sistema de rueda)

Por lo tanto, para poder utilizar el arma objeto de estudio:

Para poder portar y usar las armas de las armas accionadas por aire u otro gas comprimido, de la categoría 4ª, fuera del domicilio es necesario obtener la oportuna tarjeta de armas, las cuales deben acompañar siempre a las armas.

1. La tarjeta tipo A, ampara las armas de la categoría 4ª. 1.

2. La tarjeta tipo B, ampara las armas de la categoría 4ª. 2.

Los **solicitantes de la tarjeta tipo A** deben acreditar tener **cumplidos los catorce años** de edad, a cuyo efecto habrán de presentar documento nacional de identidad o documentos equivalentes en vigor.

Las tarjetas de armas **serán concedidas por los Alcaldes de los municipios** de residencia de los solicitantes, para ello deben valorar la conducta y antecedentes de los mismos.

No obstante, la autoridad municipal podrá limitar o reducir, tanto el número de armas que puede poseer cada interesado como el tiempo de validez de las tarjetas, teniendo en cuenta las circunstancias locales y personales que concurran.

La tarjeta de armas se expedirá en impreso que confeccionará la Dirección General de la Guardia Civil.

Su validez quedará limitada a los respectivos términos municipales.

La tarjeta tipo A, cuya validez será cinco años, podrá documentar hasta seis armas de la categoría 4ª.1.

La tarjeta **tipo B**, cuya validez será permanente, podrá documentar un **número ilimitado** de arma de la **categoría 4ª.2.**

Cuando el número de armas en propiedad exceda de seis armas de la categoría 4ª.2, el interesado podrá ser titular de más de una tarjeta tipo B.

2.4 Clasificación por sistemas de propulsión de proyectil:

Definimos el concepto “arma” como objeto susceptible de transformarse para lanzar un perdigón, bala o proyectil por la acción de un mecanismo propulsor y debido a su construcción o al material con el que este fabricada pueda transformarse de este modo.

Tras dicha definición entenderemos que dentro de esta definición podemos encontrar objetos que, a pesar de cumplir la definición, tienen significativas diferencias y prestaciones.

La clasificación de las “armas” se puede efectuar siguiendo varios criterios igualmente válidos, dado que es un producto muy amplio que se caracteriza según varios parámetros que en conjunto definirán las características y prestaciones del arma en cuestión.

Primeramente, quiero hacer enfoque en la diferenciación de estas según sean armas de repetición, semiautomáticas y automáticas.

-Arma de repetición: Arma que se recarga después de cada disparo, mediante un mecanismo accionado por el tirador que introduce en el cañón un cartucho colocado previamente en el depósito de municiones.

Es decir, un arma que una vez hayamos accionado el gatillo, se expulsará el proyectil y con el fin de ejecutar un disparo nuevamente se requiere de la acción humana para cargar un proyectil en el cañón.

Ejemplo: Rifle Winchester o fusil Máuser



Figura 2.3 Rifle Máuser

-Arma semiautomática: Arma que tras cada disparo de recargar automáticamente sin necesidad alguna de la acción humana, quedando así en disposición de efectuar otro disparo accionando el disparador cada vez.

Es decir, un arma que cuando accionamos el gatillo y se expulsa el proyectil que se encuentra en el cañón. De forma automática, mediante el accionamiento de un mecanismo se depositará otro proyectil en el cañón de forma que si el tirador acciona nuevamente el gatillo se efectuará otro disparo.

Ejemplo: Pistola Llama M-82



Figura 2.4 - Pistola Llama M-82

-Arma automática: Arma que se recarga automáticamente sin necesidad alguna de acción humana, y con la que es posible efectuar varios disparos sucesivos con la condición que el disparador permanezca accionado.

Es decir, un arma que cuando el tirador accione el mecanismo disparador y lo mantenga en accionado. Dicha arma será capaz de efectuar disparos de forma sucesiva sin la necesidad alguna acción adicional humana.

Ejemplo: Fusil MG42



Figura 2.5 - Fusil MG42

Además, según el ámbito de este proyecto considero necesario clasificar las armas según el medio que origina el disparo. Según este criterio diferenciamos armas manuales mediante muelle(Spring), armas eléctricas, armas de gas comprimido y armas de aire pre comprimido (de ahora en adelante, PCP)



Figura 2.6 - Esquema tipos de armas

-Armas manuales mediante muelle: Armas de repetición que se recarga manualmente comprimiendo el muelle o resorte, que en líneas generales se encuentra en la parte superior trasera del arma. De forma que, cuando el tirador accione el disparador dicho

muelle el muelle es liberado y acciona un pistón que comprime aire que pasa al cañón liberando energía que será transmitida al proyectil en forma de energía cinética consiguiendo así efectuar un disparo.

-Armas eléctricas: Dicho de las armas que son accionadas mediante un motor eléctrico, generalmente funciona por batería, que accionara un conjunto de engranajes que transmitirán un movimiento lineal a la corredera del cañón. Comprimiendo así el muelle que en líneas generales está dispuesto en la parte superior trasera del arma. A continuación, dicho engranajes dejaran libre la corredera junto comprimido que volverá entonces a su posición de reposo transmitiendo así energía cinética al proyectil que se encontrará en la cámara.

Este tipo de armas por su naturaleza mecánica puede ser de repetición, semiautomática y automática.



Figura 2.7 - Mecanismo AEG

-Armas de gas comprimido: Dicho de las armas que transmiten energía cinética al proyectil mediante el empuje que transmite un gas en expansión previamente comprimido. Mediante un diseño neumático se controla la trayectoria que sigue un gas en expansión, transmitiendo así empuje al proyectil que se ha depositado en la cámara. Por la naturaleza de este mecanismo, las armas de gas comprimido pueden ser de repetición, semiautomáticas y automáticas.

Además, dentro de esta categoría podemos diferenciar diferentes tipos. Pues estas pueden hacerse servir del gas que según sus propiedades y comportamiento se adecue a la aplicación en cuestión. Los gases más utilizados en la actualidad en las armas de aire comprimido son: CO₂ y Green gas (HFC22, HF134A y derivados).

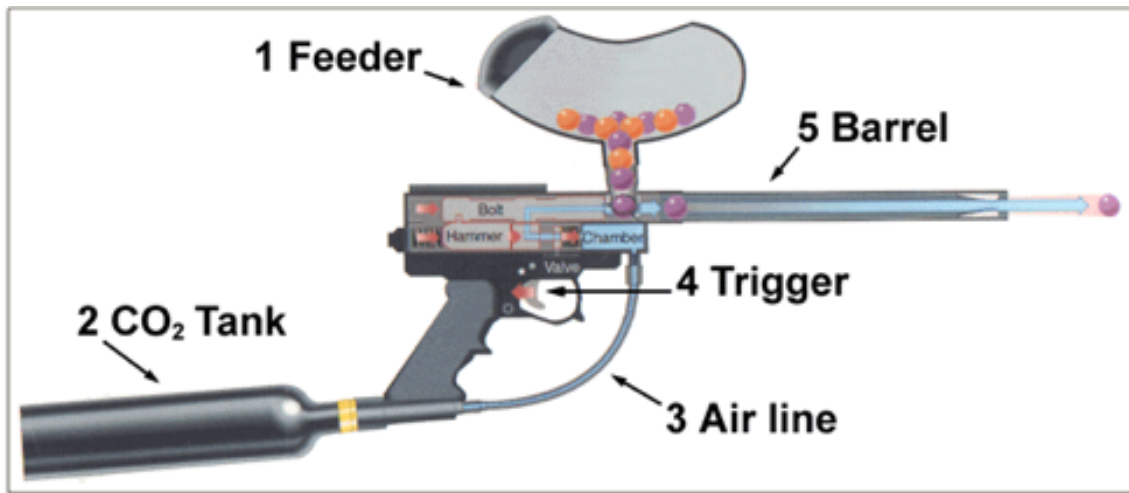


Figura 2.8 - Pistola paintball

-Armas de PCP: Estas armas tienen un funcionamiento análogo a las armas de gas comprimido citadas anteriormente, su diferencia reside en el cambio de gas por aire.

2.5 Aplicaciones de las armas de gas comprimido:

Las armas de gas comprimido han estado presentes en la sociedad desde siglos atrás. Por el paso de los años estas han ido variando debido a las novedades tecnológicas que se han desarrollado, y con ese cambio han ido variando las aplicaciones que se ha dado en la sociedad.

Representan la alternativa a las armas de fuego, y poseen ventajas respecto a estas en algunos aspectos tanto en el mundo civil como en el militar.

Juegos de guerra:

Los juegos de guerra están de moda, ya sea en formato digital como en el mundo real. Gracias a las armas de aire/gas comprimido, estos pueden hacerse realidad de forma segura, siempre y cuando se usen de forma precavida. Actualmente existen dos modalidades de juego.

-Airsoft:

El airsoft es una actividad lúdico-deportiva de estrategia basado en la simulación militar. Generalmente se práctica en dos tipos de escenario. Por una parte, en campos abiertos para jugar a largas distancias(CQC) o en edificios, naves abandonadas o recintos creados específicamente para esta modalidad para practicar las habilidades a cortas distancias.

Se utilizan réplicas de armas de fuego. Dichas réplicas disparan pequeñas bolas de PVC de 6 a 8mm de diámetro con un peso de 0'12g hasta los 0'43 según la normativa vigente. Las municiones son prácticamente inofensivas, aun así, es obligatorio que todos los participantes y personas situadas en el recinto de tiro estén provistos de protección homologada. Haciendo especial hincapié en la zona facial/bucal para evitar lesiones oculares y dentales.



Figura 2.9 – Airsoft

-Paintball: Se trata de una actividad lúdico-deportiva de estrategia basado en la simulación militar. Funciona de forma similar a la anterior modalidad descrita. La principal diferencia reside en la munición usada. Como bien recoge el término en este caso la munición son bolas de pintura, también denominadas marcadoras. En líneas generales se trata de un juego de estrategia complejo en el que los jugadores alcanzados por las bolas de pintura son eliminados del juego a veces de forma transitoria, dependiendo de la modalidad. Contrariamente a lo que generalmente se cree, es uno de los deportes más seguros al aire libre. La Sporting Goods Manufacturer's Association estima que aproximadamente 10 millones de estadounidenses juegan anualmente al Paintball.



Figura 2.10 – Paintball

-Tiro deportivo: Deporte que implica poner a prueba precisión y concentración en el manejo de un arma de fuego o de aire comprimido. Todas las normas se rigen según la Federación Internacional de Tiro deportivo. Para la practica segura de dicho deporte se requiere que el tirador este provisto de equipo de protección personal, gafas protectoras y protector auditivo.

Se trata de un deporte que está formado por múltiples modalidades, muchas de ellas son modalidades olímpicas. Estas se subdividen dentro de grupos:

Arma larga: Tiro a siluetas metálicas, carabina 50 metros en tres posiciones, carabina en posición de tendido, carabina de aire 10 metros.

Pistola: Pistola libre 50m, pistola velocidad 25 metros, pistola aire 10 metros, pistola deportiva 30+30 a 25 metros.

Tiro al plato: Fosa, fosa doble y Skeet



Figura 2.11 - Olimpiadas de tiro deportivo

Caza: Ya en el siglo XVI las armas de aire comprimido eran usadas para la caza. Tras la II Guerra Mundial, en Alemania quedo prohibido la producción y distribución de armas de fuego. Por lo que se llevó a cabo un desarrollo de las armas de aire comprimido principalmente para la caza o tiro deportivo.

Entrenamiento militar: El entrenamiento de tiro en soldados es tarea necesaria para cualquier ejército preparado. Dicho entrenamiento llevado a cabo con armas de fuego, junto con la munición adecuada repercute en un gasto el gobierno.

Por su parte las armas de aire o gas comprimido presentan una munición y operaciones de mantenimiento significativamente más económicas que las armas de fuego. Por lo que, ya en otras naciones se han usado sistemas neumáticos para abaratar el adiestramiento militar de sus respectivos soldados. Para ello se desarrollan réplicas que se asemejan en características y prestaciones todo lo posible a las armas de fuego usadas por el ejército en cuestión.

En la actualidad, la diferencia entre las armas de fuego y sus réplicas más significativa se encuentra en el retroceso del arma en cuestión. Los fusiles y las carabinas usadas en líneas generales por las unidades de asalto poseen retrocesos poderosos que sus réplicas armas de aire o gas comprimido no consiguen alcanzar, quitando así realismo al entrenamiento. A pesar de ello, sigue siendo una alternativa en simuladores balísticos o entrenamiento de iniciación a soldados para la mejora de habilidades de tiro y reflejos a bajo costo.



Figura 2.12 - Simulador balístico

2.6 Comportamiento del dióxido de carbono:

Para garantizar que nuestra réplica es segura debemos conocer debidamente el comportamiento del dióxido de carbono. Por ello, debemos entender las características de este mismo y tomar las precauciones de seguridad adecuadas.

Propiedades físicas y químicas:

El dióxido de carbono no es un gas inflamable, ya que las reacciones de combustión son inhibidas por dicho gas. Además, en condiciones atmosféricas, es químicamente estable e inerte. Aun así, debemos tener en cuenta que el dióxido de carbono puede reaccionar con otras sustancias como el amoníaco o aminas de forma peligrosa. También veo necesario considerar que el dióxido de carbono se disuelve en agua produciendo ácido carbónico (ácido débil) que provocara corrosión en aceros al carbono y algunos metales no ferrosos.

En condiciones atmosféricas, el dióxido de carbono es 1'5 veces más pesado que el aire. Por lo tanto, tiende a fluir hacia abajo.

Además, deberemos considerar el estado físico en que se encuentra el gas en nuestras condiciones de trabajo, dicho estado varía según la siguiente gráfica entre gas, líquido y sólido.

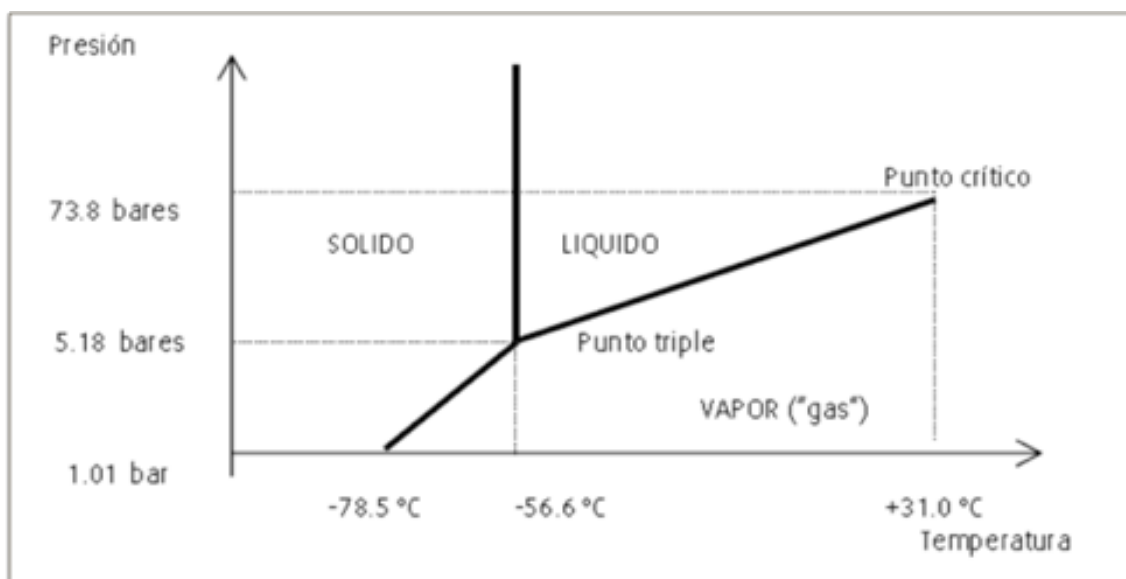


Figura 2.13 - Gráfica comportamiento del dióxido de carbono

En un tanque el dióxido de carbono se encuentra en estado líquido, bajo la presión de gas licuado. Además, la presión en el cilindro a 20°C es de 5.7bar y dicha presión permanecerá constante en el cilindro en cuestión independientemente del porcentaje de llenado de este mismo siempre y cuando siga existiendo dióxido de carbono en fase líquida en su interior. Por tanto, el contenido de un cilindro a presión de dióxido de carbono solamente se puede determinar por su peso y no por su presión. Generalmente

los cilindros de CO₂ están formados de acero al carbono, por tanto, deben ser protegidos de su contacto con agua o fluidos acuosos.

Una medida de precaución para mantener la humedad fuera de los cilindros de dióxido de carbono es que estos solo se deberían vaciar hasta una presión residual de 1.5 bar, a continuación, mantener las válvulas del cilindro cerradas evitando así el acceso de aire húmedo en el cilindro.

Además, los cilindros que contengan dióxido de carbono en fase líquida deberán encontrarse en posición vertical en el momento de extracción de dicho gas de su interior. Pues de no ser así podría producirse la extracción de gas en fase líquida lo cual nos sería seguro.

En el momento es que este dióxido de carbono es liberado a través de un regulador fijo en una presión de salida de menos de 5,2 bar se produce un estado gaseoso en que 1000 gramos de CO₂ en estado líquido se expande a 550 litros de gas en condiciones atmosféricas.

Precauciones para la salud:

El dióxido de carbono en estado gaseoso es incoloro, inodoro e insípido. En consecuencia, es realmente difícil de detectar con los sentidos humanos. No es una sustancia considerada tóxica ni peligrosa según define la Directiva de Sustancia y Preparados Peligrosos. Aun así es cierto, que es perjudicial para la salud en altas concentraciones.

Generalmente el aire que respiramos contiene entre el 0,03% de volumen en CO₂. Es a partir de concentraciones entorno al 3-5% cuando se producen dolores de cabeza y trastornos respiratorios. Cuando las concentraciones de CO₂ se encuentran entorno al 8-10% en volumen producen calambres, inconsciencia, paro respiratorio y puede ocurrir la muerte. Las causas de estos efectos negativos en la salud no están causadas por la falta de oxígeno, sino por los propios efectos directos del dióxido de carbono en el organismo humano.

En cuanto a la aplicación del CO₂ en las armas de airsoft, esta no representa un riesgo para el jugador por inhalación. Pues dicho juego se lleva a cabo en un entorno abierto en el cual la concentración de CO₂ no puede aumentar de forma peligrosa debido a las fugas o gas usado por las armas en cuestión.

En cuanto a la manipulación de cilindros de CO₂, de acuerdo con el código de recipientes a presión un cilindro puede contener un máximo de 750gr de CO₂ por litro de volumen del cilindro. Este factor garantiza que la presión en dicho cilindro no alcanza la de prueba de presión de 250 bar por debajo de una temperatura de 65°C. En caso que se exceda el factor de llenado, la presión del cilindro aumenta significativamente con un ligero aumento de la temperatura. Por tanto dicho cilindro puede estallar solamente debido a la exposición solar.

Por tanto, el dióxido de carbono se puede utilizar en múltiples aplicaciones. Pero es

importante utilizarlo de forma correcta con el fin de lograr el efecto deseado y eliminar los riesgos.

Comportamiento en ráfagas de tiro:

La aplicación del dióxido de carbono a un arma automática en ráfagas superiores a 3-4 tiros no es conveniente, pues el tirador experimentará una pérdida de potencia en sus disparos como consecuencia del enfriamiento de los materiales que conforman el sistema neumático del arma. En consecuencia, la expansión brusca del gas a presión proporcionará menor energía en la propulsión del proyectil.

Por tanto, se recomienda usar el arma en creación para ráfagas cortas y con un intervalo de tiempo suficiente para que la temperatura del arma vuelva al estado inicial mediante el intercambio de calor por convección con el aire. Se podría plantear un sistema de aporte de calor controlado a dicho sistema en el caso que el objetivo del arma fuera proyectar largas ráfagas de tiro al estilo ametralladora. Esto se debería llevar a cabo de forma muy controlada debido a lo peligroso que significa aportar calor cercano a un cilindro a presión de dióxido de carbono, con el peligro de explosión que eso conlleva. Por ello, se recomienda una práctica completamente desaconsejable.

2.7 Estudio preliminar:

Con el objeto de desarrollar un arma de gas comprimido competente en el mercado actual, primero debemos hacer un estudio de las prestaciones y P.V.P de los modelos que podemos encontrar actualmente. Consiguiendo así una idea sobre la relación calidad/precio del producto en el mercado.

Para ello hemos seleccionado diferentes modelos de carabinas de diferentes calidades, de diferentes comercios y de diferentes países. De esta forma obtenemos conocimiento sobre el mercado europeo de armas de gas comprimido.

Los comercios seleccionados para realizar dicho estudio previo al diseño serán:

www.airsoft.es

www.militaria.pl

www.gunfire.pl

www.airsoftworld.net

<https://www.evike.com/>

<https://www.fullmetal.es/>

<http://www.bananairsoft.com/>

Tras indagar en los siguientes comercios se han seleccionado 7 ejemplares para el estudio y comparación de sus prestaciones. En dicho estudio se han tenido en cuenta armas de gas comprimido que presentan significativas diferencias entre ellas, para obtener una comparación objetiva entre estas se observarán las siguientes cualidades de estas: Sistema de alimentación, velocidad de salida del proyectil(FPS), alcance(m), capacidad de balas en cargador, modos de disparo, Blowback, Hop up, peso(Gr), longitud(mm), materiales y P.V.P.

Para garantizar una correcta comprensión del informe, considero necesario hacer una explicación sobre los conceptos Blowback y Hop up. Ya que se trata de tecnicismos del arte.

Blowback:

Comúnmente conocido como retroceso simple. Se trata de un sistema de accionamiento simple para realizar la realimentación de armas de fuego automáticas o semiautomáticas. En armas de fuego convencionales el gas a presión producto de la deflagración de la pólvora dentro del cartucho de la recámara es usado para devolver a su posición inicial el mecanismo tras la ejecución de un disparo.

En cuanto a las réplicas de gas y aire a presión dicho mecanismo no es necesario, se pueden hallar réplicas completamente operativas sin mecanismo blowback. Pero cabe destacar, que dicha tecnología provee a la réplica en cuestión de mayor fidelidad en

cuanto a el arma original. En cuanto a su funcionamiento en las réplicas, funciona de forma análoga a las armas de fuego sustituyendo solamente el gas producto de la deflagración de la pólvora dentro del cartucho de la recámara por el propio gas a presión usado para disparar el proyectil, que posteriormente será redirigido aprovechando su energía adyacente para devolver el mecanismo a su posición inicial tras el disparo.

Hop up:

Se trata de un mecanismo cuya única función es aumentar el alcance de la réplica en cuestión. Es un mecanismo propio de las réplicas, es decir no se conoce su uso en armas de fuego convencionales. Con el objeto de aumentar el alcance del proyectil tras ser disparado, hop up se encarga de transmitirle un movimiento de rotación sobre sí mismo que suavizara la parábola que forma en el aire tras ser expulsado del cañón un proyectil convencional de airsoft. Dicho efecto, es conocido como “Efecto Bernoulli”. Para lograr este efecto se introduce una goma en el cañón de la réplica en cuestión, que entrara en ligero contacto con el proyectil durante su recorrido por el cañón. Dotándolo así del movimiento de rotación sobre sí mismo deseado. Comúnmente, se trata de un mecanismo regulable manualmente, para que así el tirador puede variar su acción según sus necesidades y criterio.

En las armas de fuego convencionales, los fabricantes de armas modifican el ánima del cañón para así poder ejercer ese movimiento de rotación deseado sobre el proyectil.

Réplicas a estudiar:



Figura 2.14 - Bolt B4 FS EBB (Electric)



Figura 2.15 - King Arms M4A1 (Electric)



Figura 2.16 - M4A1 (CO2)



Figura 2.17 - 888 carabine (CO2)



Figura 2.18 - M4 carabine (Green Gas)



Figura 2.19 - Valken AR-1 (High Pressure Air)



Figura 2.20 - GHK M4 (Green Gas)

A continuación, se adjunta la tabla comparativa de prestaciones:

Análisis de mercado									
	Bolt B4 FS EBB	King Arms M4A1	M4A1	888 carabine	M4	Valken AR-1	GHK M4		
Mecanismo	Electrico	Electrico	CO2	CO2	Green Gas	HPA	Green Gas		
Code/Ref.	BOLT B4FS(R)_100T	KA-AG-146	WET-02-018965	WET-02-018968	M4 Keymod MOD1	79942	RAG-Custom-work-GHK-009		
Vel. Salida proyectil FPS(+/- 5%)	320-390	330	430	430	370	330	Ajustable		
Alcance (m)	60	50	40	-	60	50	50m		
Capacidad de Bb's	300	300	30balls/12gr CO2	30balls/12gr CO2	40	360	-		
Modos de disparo	Semi-Automatic	Semi-Automatic	Semi-Automatic	Semi-Automatic	Semi-Automatic	Semi-Automatic	Semi-Automatic		
BlowBack	EBB	NO	GBB	GBB	GBB	NO	GBB		
Hop Up	Adjustable	Adjustable	Adjustable	Adjustable	Adjustable	Adjustable	Adjustable		
Munición	-	-	-	-	-	-	-		
Peso(Gr)	2850	3500	3035	3310	5000	3500	5000		
Longitud	767-851mm	-	770-850mm	770-855mm	14,5"		16,2"		
Materiales	Aluminio,Abs, nylon y acero	Plastico	Acero y plastico	Acero y plastico	Acero y aluminio	Aluminio	Acero		
Precio	420 €	147 €	423 €	418 €	656 €	710 €	840 €		
Vendedor	Airsoft World	Airsoft World	Airsoft.es	Airsoft.es and mil	Airsoft World	Airsoft World	Airsoft World		

Figura 2.21 – Análisis DAFO

3. Diseño CAD

3.1 Condiciones de diseño:

Como objeto de proyecto desarrollamos una réplica, por tanto, el proyecto parte desde unas condiciones de trabajo. Dentro de la propia carabina se dispone de un volumen de trabajo limitado, por ello mismo se desarrollará un mecanismo que dimensionaremos y adaptaremos en consecuencia a la geometría del arma de fuego original. Como partida de proyecto disponemos de las piezas en formato Solidworks que posteriormente, ensamblamos y damos forma al arma de fuego original. Para así conocer los requisitos que nuestro mecanismo debe cumplir para encajar dentro de nuestra arma de fuego original.



Figura 3.1 - Carabina M4



Figura 3.2 - Vista seccionada carabina M4

Por tanto, deberemos modificar su mecanismo interno adaptándonos a las condiciones de contorno que el arma presenta, eliminando así todas las partes que posteriormente modificaremos para crear así la réplica de gas.



Figura 3.3 – Vista seccionada contorno carabina M4

Partiendo desde este punto deberemos crear las siguientes partes: Cañón para munición (Bb, de ahora en adelante), cargador de Bb's y tanque de CO2, cilindro de alta presión y disparador.

3.2 Creación virtual:

Con el objetivo de facilitar la comprensión de la creación virtual, a continuación, se adjunta un esquema de las diferentes piezas y ensamblajes que se crearan mediante el software de diseño CAD Autodesk Inventor para dar forma a nuestra réplica.

Organigrama técnico de un proyecto mecánico

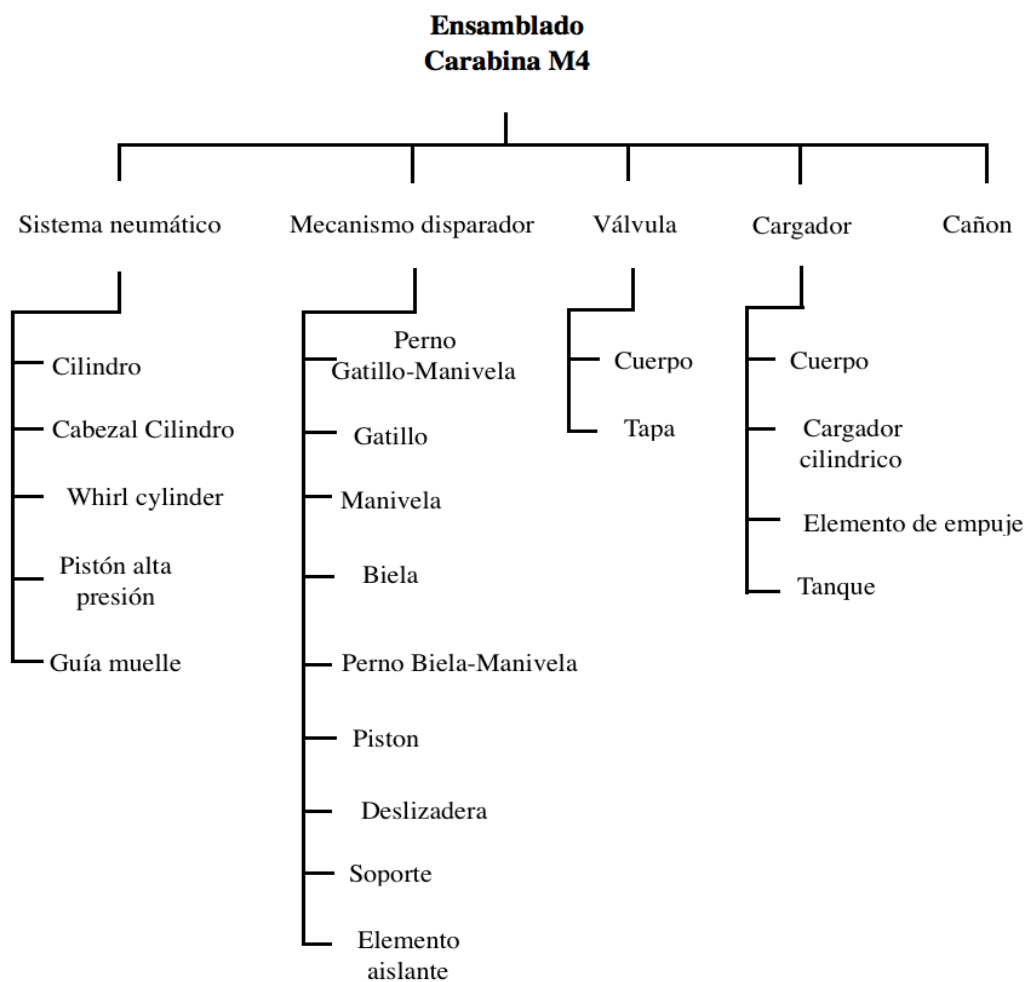


Figura 3.4 – Organigrama técnico del modelo

Que conformaran el siguiente modelo ensamblado:

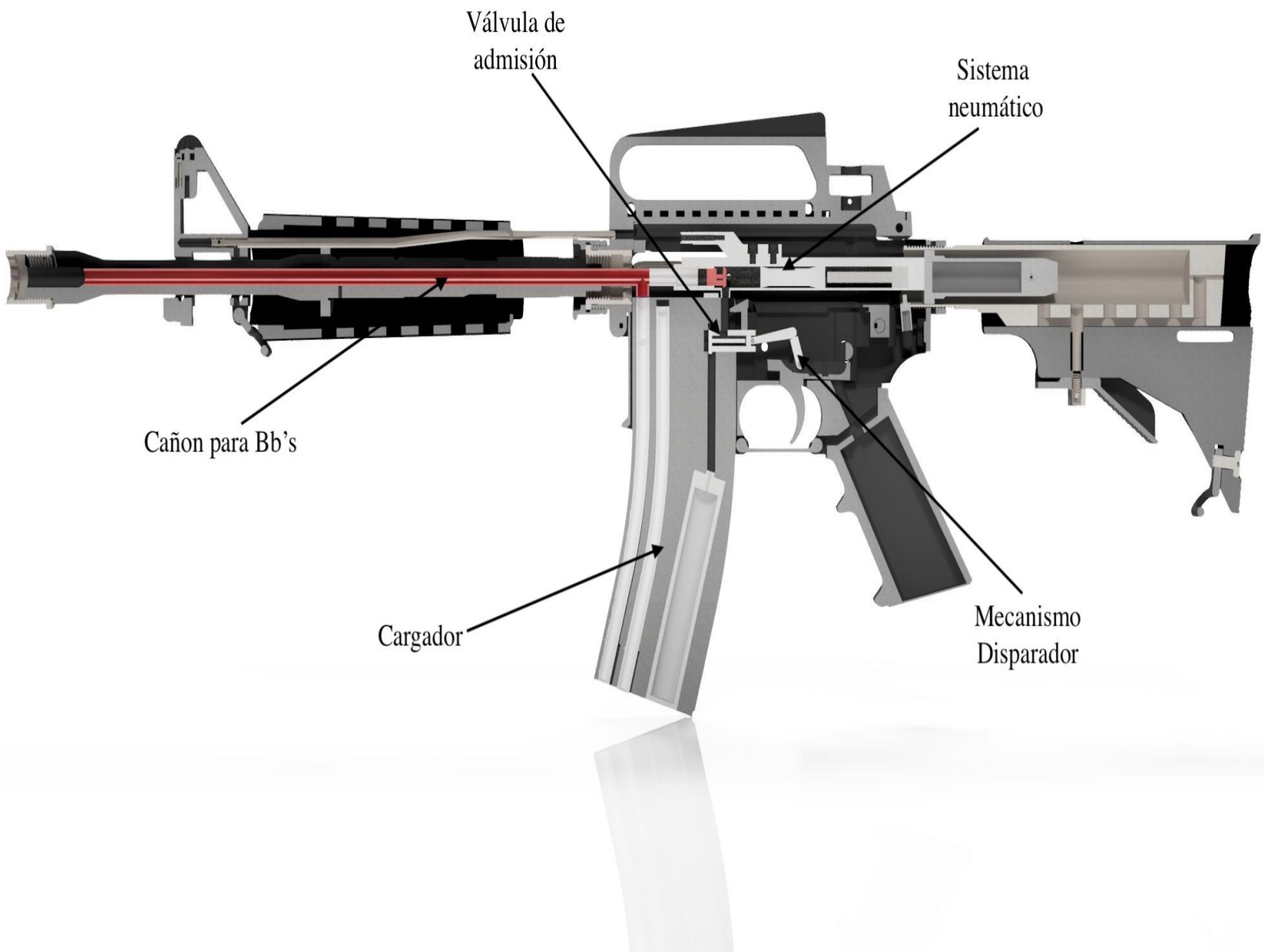


Figura 3.5 – Ensamblado total carabina M4

3.2.1 Resumen de diseño:

En cuanto al cañón de Bb's será colocado en el interior de su cañón original.

Seguidamente la creación del cargador de Bb's partirá desde el cargador original, en el cual colocaremos el sistema de recarga de munición y parte del sistema neumático el cual estará conectado con el mecanismo disparador y el cilindro de alta presión.

Cilindro de alta presión, se creará con una geometría similar a la corredera del arma original. Así pues, cuando se observe el movimiento de la corredera de la réplica resulta difícil reconocer los cambios llevados a cabo de forma visual.

Finalmente, en cuanto al mecanismo disparador se diseñará para abrir y cerrar la válvula de admisión mecánicamente, mediante el movimiento del tirador sobre el gatillo. Transformando así, un movimiento alternativo en un movimiento rectilíneo.

3.2.2 Válvula de admisión

Nuestro mecanismo interno constará de un depósito de CO₂ en estado líquido y gaseoso, seguidamente atravesará una válvula accionada por el gatillo para posteriormente ser redirigido al interior del cilindro de alta presión. En este mismo el flujo se bifurcará. Por una parte encontraremos un elemento que se encargará de transmitir al flujo una pérdida de carga y seguidamente, este mismo flujo dará el empuje necesario al proyectil para ejecutar el disparo. Simultáneamente a dicho procedimiento por la otra parte se irá acumulando gas dentro del cilindro de alta presión el cual será el encargado de aportar la energía suficiente al mecanismo de Blowback, dando así el movimiento a la corredera que recargará nuevamente un proyectil en el cañón y dará un toque de realismo en cuanto a el arma de fuego original. El arma por tanto funcionará de forma automática mientras la válvula de admisión continúa abierta.

-Válvula de admisión:

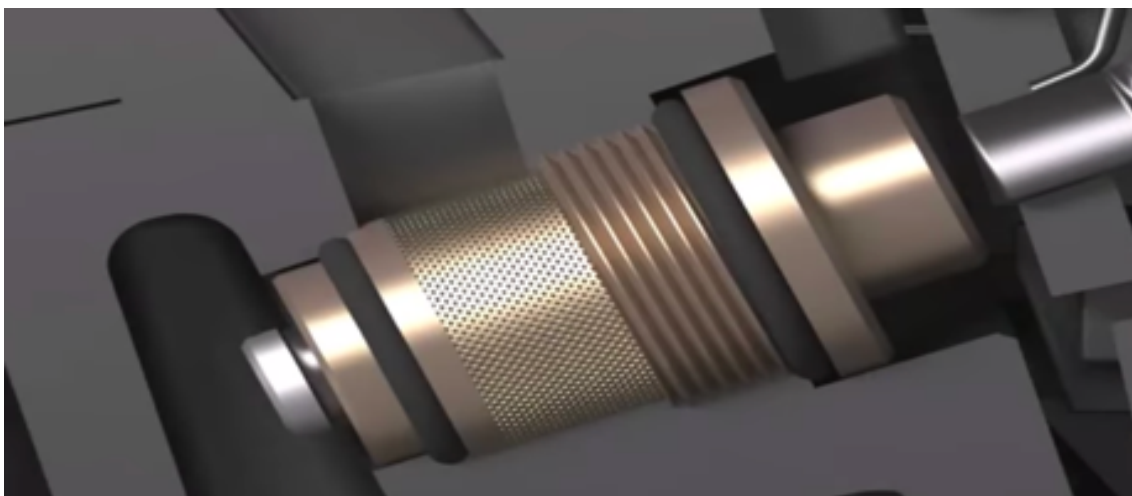


Figura 3.6 - Válvula cerrada

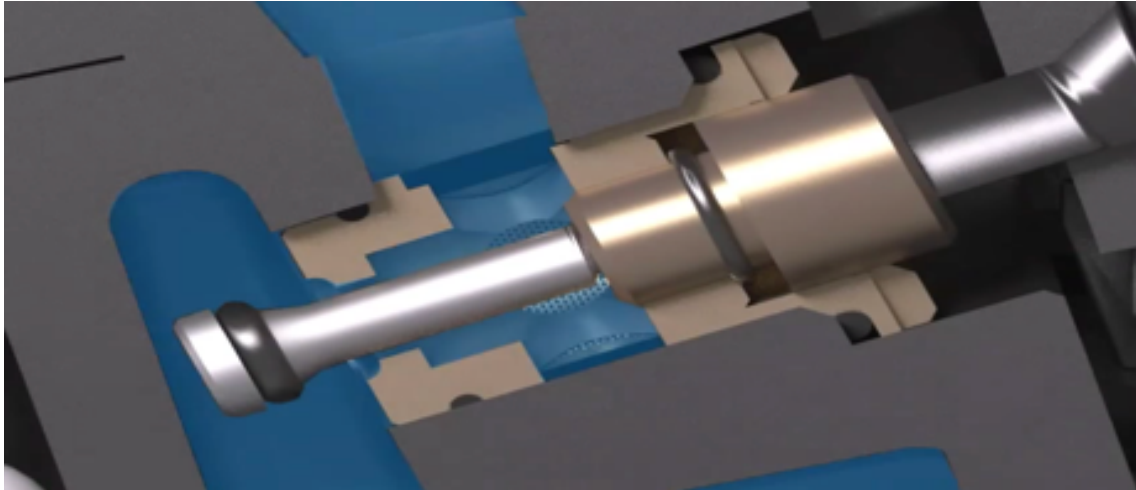


Figura 3.7 - Válvula abierta

Dichas imágenes representan ambas posiciones de la válvula en cuestión. La cual dará paso a la admisión desde el tanque de CO2 al conducto de circulación de gas hasta el cilindro de alta presión. Dicha válvula será situada en el cargador del arma original. De las válvulas disponibles en el mercado, tras barajar diferentes opciones se ha seleccionado la siguiente.



Figura 3.8 - Válvula Eleval001

Nombre: Válvula de salida
 Modelo: Eleval001
 Fabricante: Element
 Vendedor: objetivoairsoft.es

Para garantizar que solo el CO2 en estado gaseoso será capaz de atravesarla, dicha válvula será provista de un filtro de metal. Garantizando así un óptimo funcionamiento también cuando el jugador se encuentre disparando en movimiento.

Posteriormente, procedemos a la creación de la pieza en un entorno CAD. Obteniendo los siguientes resultados:

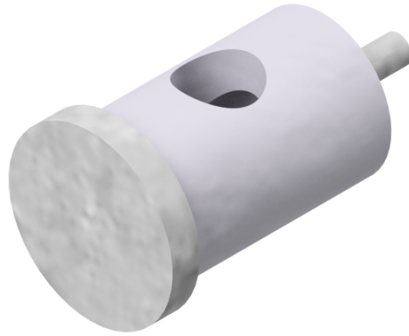


Figura 3.9 - Representación CAD válvula Elevel001

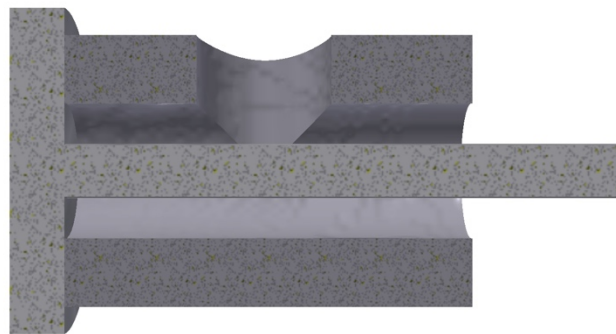


Figura 3.10 - Vista seccionada válvula Elevel001

3.2.3 Sistema neumático:

La geometría del cilindro de alta presión se creará de forma análoga al siguiente.

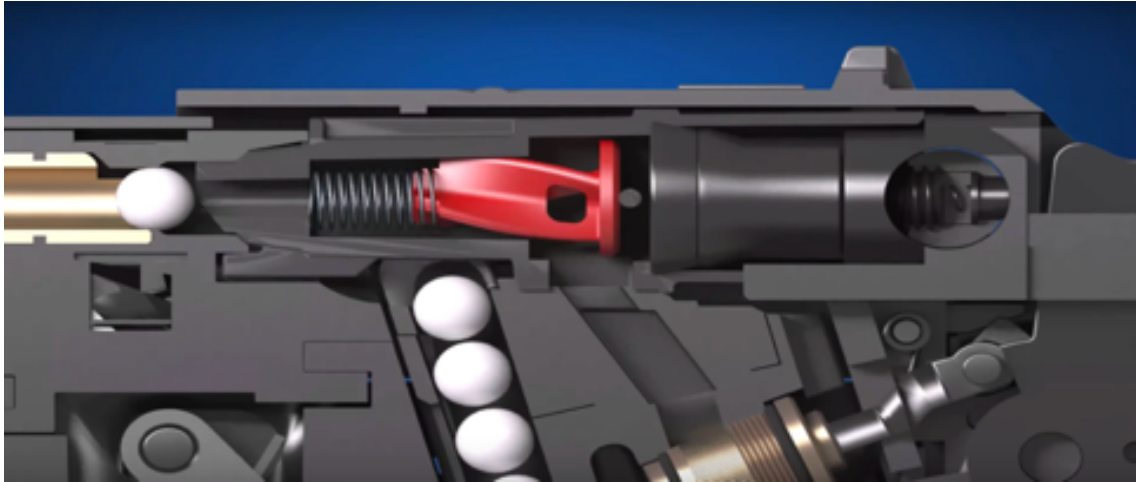


Figura 3.11 - Esquema sistema neumático

Nuestro sistema neumático constará pues de un cilindro de alta presión el cual se encargará de bifurcar el flujo que proviene de la válvula de admisión, con la ayuda de un elemento de pérdida de carga y un pistón. En dicho momento el flujo se repartirá en una parte de flujo de baja presión y otro de alta.

El flujo de baja presión proporcionará el empuje necesario al proyectil en cuestión para ejecutar el disparo. Simultáneamente, el flujo de alta presión se almacenará en el interior del cilindro de alta presión.

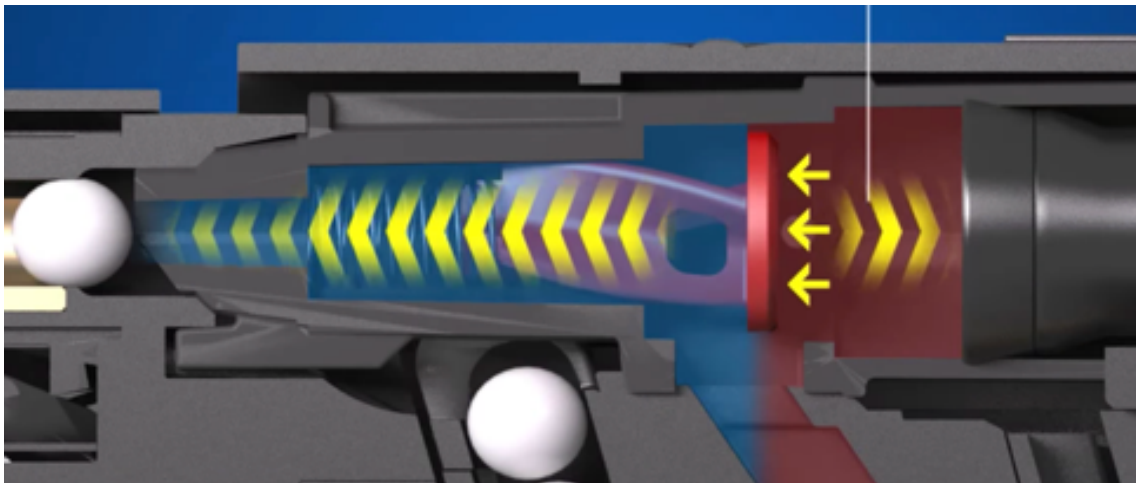


Figura 3.12 - Representación flujo 1

Así pues, para salir de este mismo otorgará a la corredera el movimiento deseado realizando la función del blowback.

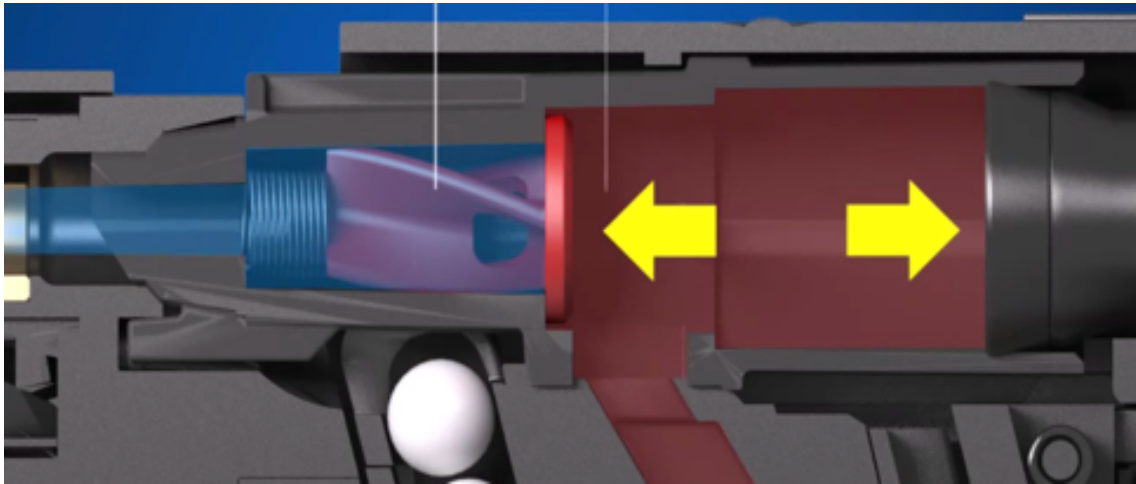


Figura 3.13 - Representación flujo 2

Posteriormente, realizamos el levantamiento en CAD de dicha pieza tratando de mantener la mayor similitud con la original de la carabina M4. Obteniendo los siguientes resultados.



Figura 3.14 - Representación movimiento blowback



Figura 3.15 - Creación virtual corredera

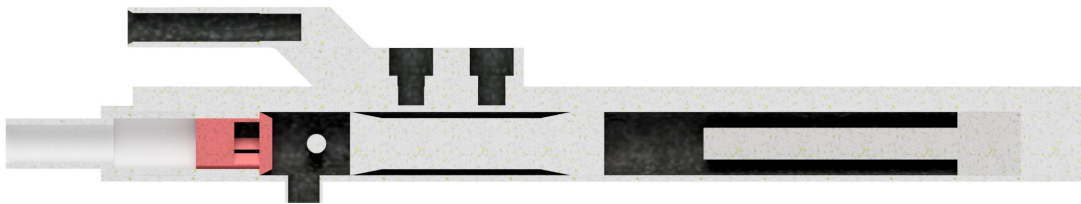


Figura 3.16 - Vista seccionada corredera

Dicho ensamblaje consta de las siguientes partes:

- Cilindro de alta presión, formado por acero al carbono
- Guía del muelle, formado por acero al carbono
- Pistón
- Whirl cylinder valve
- Cabezal del cilindro
- Pieza blowback, dicha pieza no es necesaria en nuestro diseño. Aun así se colocará en la réplica para ganar fidelidad visual en cuanto al arma de fuego original.

3.2.4 Cargador:

Para el diseño del cargador de nuestra réplica hemos mantenido plena fidelidad a la superficie externa del cargador. Por lo que a simple vista nos parecerá que se trata de la misma arma de fuego original. Sin embargo en su interior disponemos de dos cartuchos independientes para Bb's y un sistema neumático, que consta de un tanque de 12gr de CO₂, junto con la válvula de salida que dirigirá cuando así sea necesario flujo de CO₂ en expansión hasta la cámara de la corredera.

Además, esta provista de una pieza móvil que se encargará de cerrar la salida de gases del cargador cuando la corredera no se encuentre en posición apta para el disparo.



Figura 3.17 - Creación virtual cargador

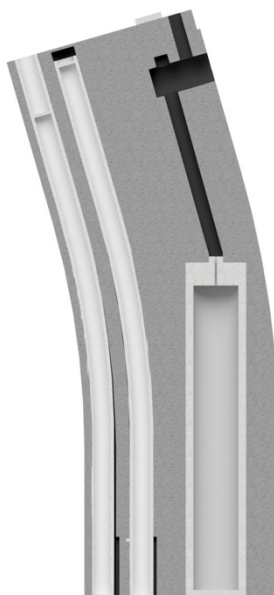


Figura 3.18 - Vista seccionada cargador

3.2.5 Mecanismo disparador:

Para finalizar la etapa de diseño solo queda pendiente el diseño del mecanismo que accionará la válvula cuando así lo considere el tirador. Con el objetivo de adaptarnos al gatillo original y posición en el cuerpo del arma, adaptamos en consecuencia la geometría del mecanismo diseñado.

Dicho mecanismo será un mecanismo biela-manivela-deslizadera, que será accionado por el propio movimiento del gatillo del tirador. Accionando así la válvula mecánicamente para ejecutar un disparo.

Por tanto, teniendo en cuenta dichas especificaciones de diseño se crea el siguiente mecanismo.



Figura 3.19 - Creación virtual disparador

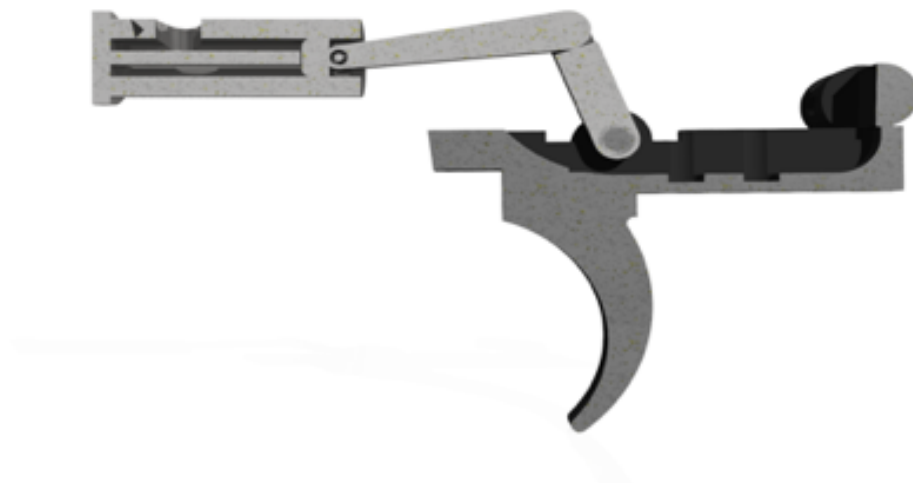


Figura 3.20 - Vista seccionada disparador

3.2.6 Cañón:

Las armas de airsoft poseen un cañón especial, debido a la geometría esférica de las Bb's no tiene ningún efecto sobre el disparo el ánima del cañón. Por tanto las réplicas de gas poseen un cañón generalmente de 6mm de diámetro con un ánima lisa. Adaptándonos a las especificaciones generales y a las especificaciones geométricas de la carabina M4 hemos realizado el levantamiento en CAD del siguiente cañón.



Figura 3.21 - Creación virtual cañón



Figura 3.22 - Vista seccionada cañón

3.2.7 Ensamblado:

Nuestro levantamiento en CAD de las diferentes partes de nuestra réplica está terminado. En consecuencia, debemos proceder a realizar el ensamblado de las piezas diseñadas en la réplica en el cuerpo del arma original y comprobar si el diseño es óptimo.



Figura 3.23 - Vista seccionada ensamblado carabina M4



Figura 3.24 - Vista seccionada isométrica ensamblado carabina M4



Figura 3.25 - Vista isométrica ensamblado carabina M4

Por tanto, el funcionamiento de la réplica de la carabina M4 diseñada funcionará de la siguiente forma.

Las Bb's dispuestas previamente en el cargador serán colocadas en el interior del cañón automáticamente mediante la acción de un resorte que empujara hacía el cañón las Bb's que se encuentran en la recámara. En ese momento, la réplica se encuentra en disposición de ejecutar un disparo. Para ello, primero deberemos asegurarnos que el seguro se encuentra en posición de disparo y seguidamente el tirado accionará el gatillo cuando así lo considere.

En consecuencia, la válvula de salida de tanque de CO₂ se abrirá dirigiendo el flujo en cuestión de CO₂ a través del circuito neumático que se ha formado en el cargador hasta llegar a la cámara interior de la corredera. Llegado este punto el flujo de dióxido de carbono se bifurcará. Un tramo sufrirá una pérdida de carga debido a la acción de la whirl cylinder Valve, y seguidamente proporcionará al proyectil dispuesto en el interior del ánima del cañón el empuje necesario para realizar el disparo. Simultáneamente, a dicho proceso y como hemos explicado anteriormente la otra parte del flujo se almacenará en el interior de la corredera empujando a la vez el pistón y la whirl cylinder valve hasta que finalmente el espacio interior de la corredera quede sellado. En dicho momento, la corredera entera será desplazada como lo haría el arma de fuego original. Proporcionando fidelidad a la réplica en cuanto a su antecesora. En el mismo momento que la corredera empieza su movimiento y se desprende del cargador, el agujero de salida será tapado por una pieza móvil que dispone de un resorte que volverá a su posición inicial cuando lo haga la corredera principal.

En dicho momento el arma se encuentra en disposición de realizar otro disparo. Pues otra Bb habrá sido desplazada automáticamente por el resorte en el interior del cañón.

Por tanto, si el tirado mantiene el gatillo accionado también la válvula de salida estará abierta. Proporcionando así un tiro automático a la réplica de la carabina M4.

Sin embargo, si el tirado no mantiene el gatillo accionado el arma solo realizará un tiro y quedará en disposición de disparar mientras el seguro este en posición de reposo. Además, cabe destacar que el tirador sentirá la tendencia del gatillo a volver a su posición de reposo debido a la fuerza del gas en el tanque de CO₂, sobre la válvula que acciona mecánicamente el gatillo y también debido al resorte helicoidal que poseerá el gatillo al igual que en el caso del arma original de fuego.

4. Diseño CAE

4.1 Introducción:

Entendemos por diseño CAE (del inglés, Computer Aided Engineering) la ingeniería asistida por computador, dicha disciplina es la encargada junto a un conjunto de softwares de analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador con el objetivo de valorar sus características, propiedades, viabilidad y rentabilidad. Ayudan al proceso ingenieril optimizando su desarrollo y disminuyendo costos de fabricación, reduciendo al máximo las pruebas del producto deseado.

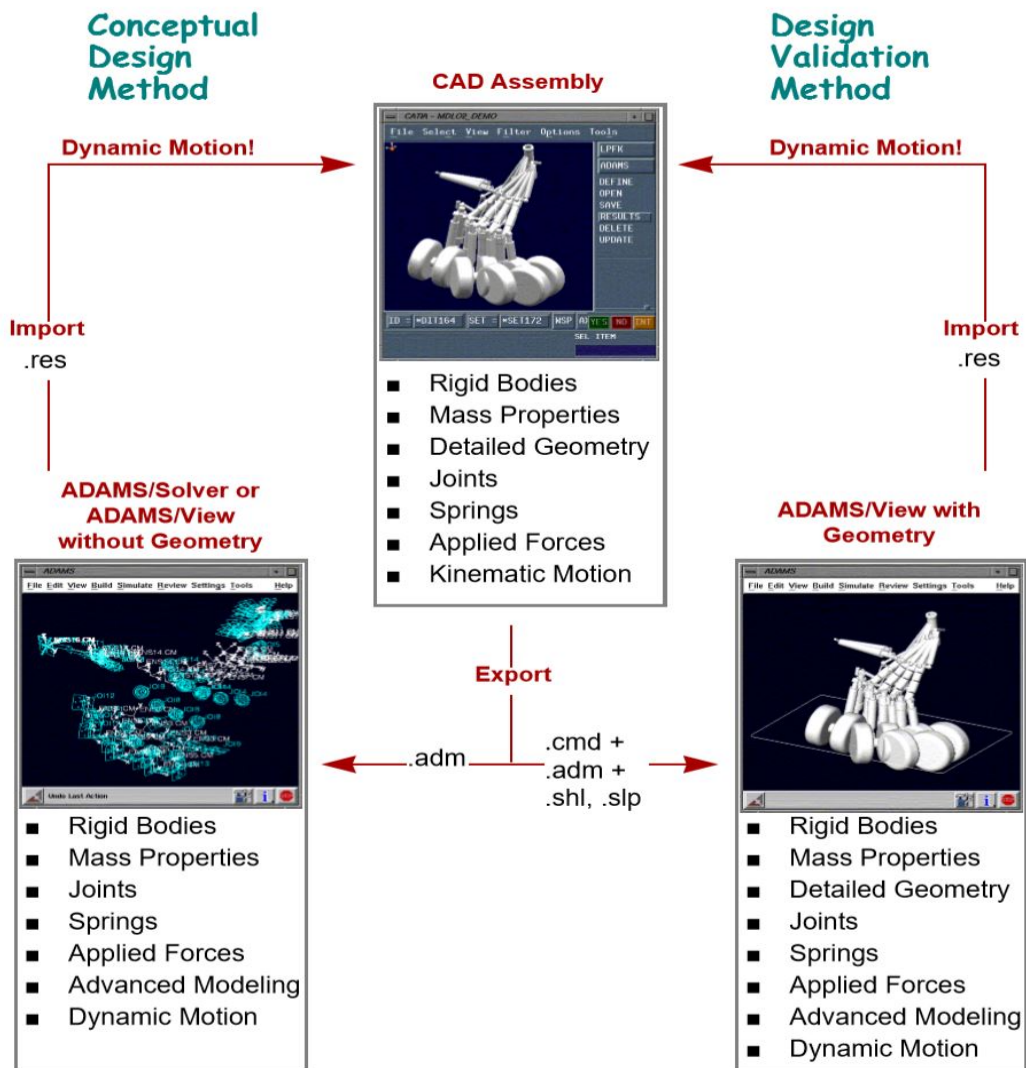


Figura 4.1- Esquema diseño CAD-CAE

La base de nuestro análisis se basará en el análisis cinemático y análisis por el método de los elementos finitos.

4.2 Problema dinámico

La dinámica es aquella ciencia que estudia la relación entre las fuerzas y el movimiento que estas producen cuando actúan sobre un cuerpo con al menos un grado de libertad. Cuando hablamos de un sistema mecánico, y de la resolución de su problema dinámico adyacente cabe plantear dos puntos de vista diferentes.

Por una parte, el problema dinámico inverso consiste en inducir unas fuerzas al sistema mecánico mediante la programación del movimiento que este debe realizar. Es decir, sabemos el movimiento que el mecanismo debe realizar como tarea y con este obtendremos las fuerzas que deberán actuar para abordar dicho movimiento. En cuanto a estas fuerzas, se dividen en dos grandes grupos; las solicitaciones de fuerzas y momentos que se producen en los pares cinemáticos y los esfuerzos motores necesarios para lograr el movimiento deseado. Con ello se puede llevar a cabo el proceso de diseño de maquinaria, pues se conocen las cargas a lo largo de todas las piezas del mecanismo. Dando así al ingeniero, los datos necesarios para dimensionar y seleccionar material de las distintas partes del mecanismo. La resolución del problema dinámico inverso es más fácil que la resolución del problema directo, ya no aparece la integración de sistemas de ecuaciones diferenciales, sino solo algebraicos.

Por la otra parte, el problema dinámico directo es lo que comúnmente se denomina simulación dinámica de un sistema mecánico. Permite conocer el comportamiento del sistema sin necesitar en ningún momento la creación de un prototipo. Hay que tener en cuenta que la fidelidad de la simulación en cuanto a la realidad aumentara si el modelado y las fuerzas a las que se ve sometido el sistema son reales. Sin lugar a duda, se trata de un método de diseño mucho más óptimo que el experimental en cuanto a costes de materiales como de tiempo. También cabe destacar, como se ha mencionado anteriormente la carga computacional que dicha simulación conlleva, debido a la integración de sistemas de ecuaciones diferenciales.

4.3 Formulación dinámica

Con el objeto de resolver la dinámica de sólidos indeformables, se opta por planteamientos conllevan un tamaño del problema proporcional al número de grados de libertad del mismo mecanismo. Para ello se recurre a las ecuaciones de Lagrange, resultado de aplicar el principio de las potencias virtuales a los teoremas fundamentales. El resultado de aplicar las ecuaciones de Lagrange en un sistema de coordenadas dependientes es:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\mathbf{q}}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \mathbf{q}} + \Phi_{\mathbf{q}}^t \lambda = \mathbf{Q}$$

Donde “T” representa la energía cinética, “t” representa el tiempo, “q” representa las coordenadas dependientes, “Q” son las fuerzas generalizadas y el tercer sumando representa los esfuerzos requeridos para mantener las restricciones de las distintas variables dependientes q.

Sustituyendo la energía cinética por su expresión en función de la matriz de masas (M).

$$T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^t \mathbf{M} \dot{\mathbf{q}}$$

La anterior fórmula queda como:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} + \Phi_{\mathbf{q}}^t \lambda = \mathbf{Q}$$

El sistema representa n (número de variables) ecuaciones, pero el número de incógnitas será igual a n+m, ya que m representa los multiplicadores de Lagrange desconocidos, tantos como ecuaciones de restricción entre las variables. Por tanto, añadiremos todas las ecuaciones de restricción al sistema. Esto nos conduce a un sistema con ecuaciones diferenciales y algebraicas, es decir, un sistema DAE's.

$$\begin{aligned} \mathbf{M} \ddot{\mathbf{q}} + \Phi_{\mathbf{q}}^t \lambda &= \mathbf{Q} \\ \Phi &= \mathbf{0} \end{aligned}$$

En el caso que la matriz de matriz de masas no sea constante, el vector de fuerzas generalizadas incluirá fuerzas de inercia centrífugas y de Coriolis, resultado de la derivación de la energía cinética.

A lo largo de mi formación como ingeniero, he trabajado con 3 diferentes tipos de formulación. La formulación completa, compacta y aumentada de Lagrange.

En la formulación aumentada de Lagrange se combinan los dos anteriores, intentando obtener las ventajas de ambos. La modelización se lleva a cabo en coordenadas dependientes, concretamente en coordenadas naturales, García de Jalón y Bayo (1994). El integrador es la regla trapezoidal, implícito, de paso simple. Tomando las posiciones como variables primarias, se combina el integrador con las ecuaciones del movimiento para llegar a un sistema no lineal de ecuaciones algebraicas donde las incógnitas son las posiciones en el instante de tiempo siguiente. Dicho sistema se resuelve mediante el procedimiento iterativo de Newton-Raphson, utilizando una matriz tangente aproximada. Alcanzada la convergencia en posiciones, se realizan proyecciones para limpiar las velocidades y aceleraciones proporcionadas por el integrador. La explicación detallada de este método puede encontrarse en Bayo y Ledesma (1996).

En resumen, obtendremos un sistema de las siguientes características:

Tamaño del modelo dinámico

Número de coordenadas + número de ecuaciones de restricción

Tamaño grande

Incógnitas

Aceleraciones + multiplicadores de Lagrange

Modelo completo

Dificultad de implementación del modelo

Mínima dificultad

Dificultad de resolución

Matriz característica simétrica y dispersa

Singularidad

No hay problemas de singularidad

Figura 4.2 – Características sistema formulación aumentada de Lagrange

4.4 Cálculo preliminar:

Según la Federación Española de Airsoft, de ahora en adelante, FEA. Un fusil no puede sobrepasar las siguientes características:

Valores máximos de velocidad por peso

Peso (Kgr)	fps	m/s
0,00020	350,00	106,68
0,00023	326,38	99,48
0,00025	313,05	95,42
0,00030	285,77	87,10
0,00036	260,87	79,51
0,00040	247,49	75,43

FUSIL

Figura 4.2 – Valores máximos de velocidad por peso

FPS	0.22 g	0.23 g	0.25 g	0.27 g	0.28 g	0.29 g	0.30 g	0.32 g	0.36 g
350 fps	333	326	313	301	295	290	285	276	261 1.14J
360 fps	344	336	322	310	304	299	294	285	268 1.21J
370 fps	353	346	331	319	313	308	302	293	276 1.28J
380 fps	362	354	340	327	321	315	310	300	283 1.34J
390 fps	372	363	349	336	330	324	318	308	291 1.42J
400 fps	382	373	358	345	338	332	327	317	298 1.49J
425 fps	405	396	380	366	359	353	347	336	317 1.68J
450 fps	429	420	403	388	381	374	368	356	336 1.89J
475 fps	453	443	425	409	402	395	388	376	354 2.10J
500 fps	477	467	448	430	423	416	409	396	373 2.33J

Figura 4.3 – Valores máximos de velocidad por peso

Por lo que una Bb de gramaje 0.2 gramos puede tener una velocidad de salida del cañón de 350 FPS, con una energía de 1.14 Julios. Además, en competición oficial no se podrá disparar al adversario a una distancia menor de 5 metros.

- Por tanto, primero calculamos el volumen de cámara de disparo.

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen Cámara} &= \pi * \left(\frac{6}{2}\right)^2 * 15 + \pi * \left(\frac{8}{2}\right)^2 * 25 + \pi * \left(\frac{10}{2}\right)^2 * 5'5 \\
 &= 2112'72\text{mm}^3 \approx 2113 * 10^{-9}\text{m}^3
 \end{aligned}$$

$$W = P * V = 1'14J \rightarrow x * 10^5 * 2113 * 10^{-9} = 1'14 \rightarrow x = 5'4\text{bar}$$

Por tanto, con el volumen de cámara diseñado necesitamos gas a 5'4 bar, además conocemos que la presión a la que se encuentra el dióxido de carbono en el depósito es de 5'7 bar. En consecuencia:

$$P' = 5'4bar ; P_o = 5'7bar$$

$$P' = n * P_o \rightarrow n = 0'947$$

Por tanto, nuestro elemento Whirl cylinder valve proporcionara una pérdida de carga de mínimo un 5% debido a su movimiento de rotación sobre sí mismo.

Además, dicho elemento sufrirá el efecto de ambas presiones en su lado correspondiente, por tanto, se verá afectado por la diferencia de presiones entre ambas. Además, en el momento de máxima deformación del muelle en el que se recuesta se debe verificar el equilibrio de fuerzas entre el muelle y el gradiente de presiones.

$$P_o * A - P' * A = F_m = k * x$$

$$\Delta P * A = k * x \rightarrow 0.3 * 10^5 * \pi \left(\frac{10}{2}\right)^2 * 10^{-6} = k * 5 \rightarrow k = 471 \frac{N}{m}$$

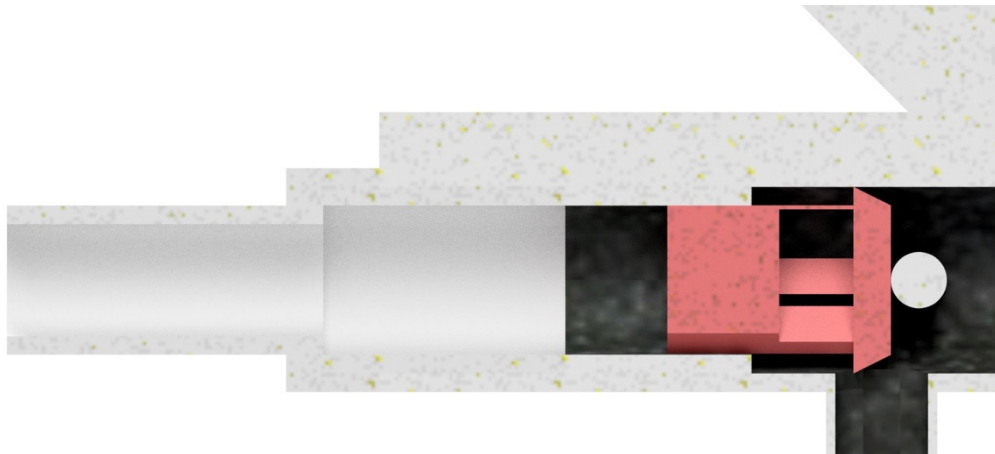


Figura 4.4 – Volumen involucrado en disparo

- En cuanto al blowback:

Queremos que la deformación máxima de su muelle adyacente sea 15mm. En consecuencia,

$$W = P * V = 5'7 * 10^5 * \pi * \left(\frac{10}{2}\right)^2 * 28 * 10^{-9} = 1.25J$$

$$F = 5'7 * 10^5 * \pi * \left(\frac{10}{2}\right)^2 * 10^{-6} = K * 15 * 10^{-3}$$

$$K = 2984'513 \frac{N}{m}$$

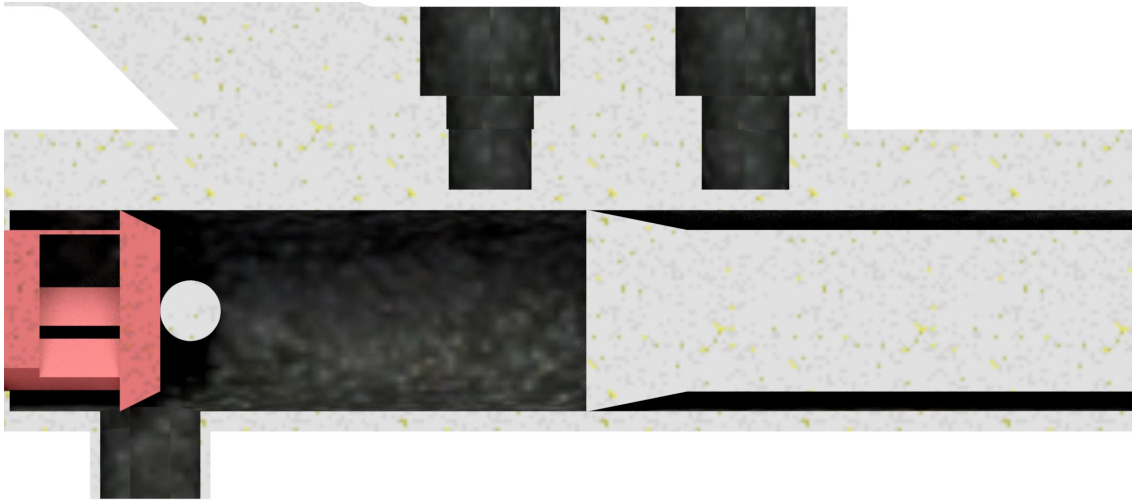


Figura 4.5 – Volumen involucrado en blowback

- Fuerzas de inercia causadas por el movimiento de la corredera o “sistema neumático” en el organigrama técnico del proyecto:

$$m_t = 0'171 + (2'519 + 6'17 + 1'33) * 10^{-3} + 1'23 * 10^{-2} = 0'1933kg$$

$$x = 35mm$$

$$\omega = 4 * 2\pi$$

$$a = 35 * 10^{-3} * (4 * 2\pi)^2 = 22'11 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{inercia} = 0.1933 * 22'11 = 4'27N$$

$$F_{muelle} = 45N$$

Dado que el orden de magnitud de la fuerza de inercia es menor al 10% de la fuerza del muelle, se puede despreciar la fuerza de inercia provocada por el movimiento de la corredera.

4.5 Diseño:

Acto seguido, realizamos la importación de las piezas creadas mediante el software Autodesk Inventor al entorno de simulación MSC Adams. Se introducen los markers que consideramos necesarios y se ensamblan las piezas nuevamente.

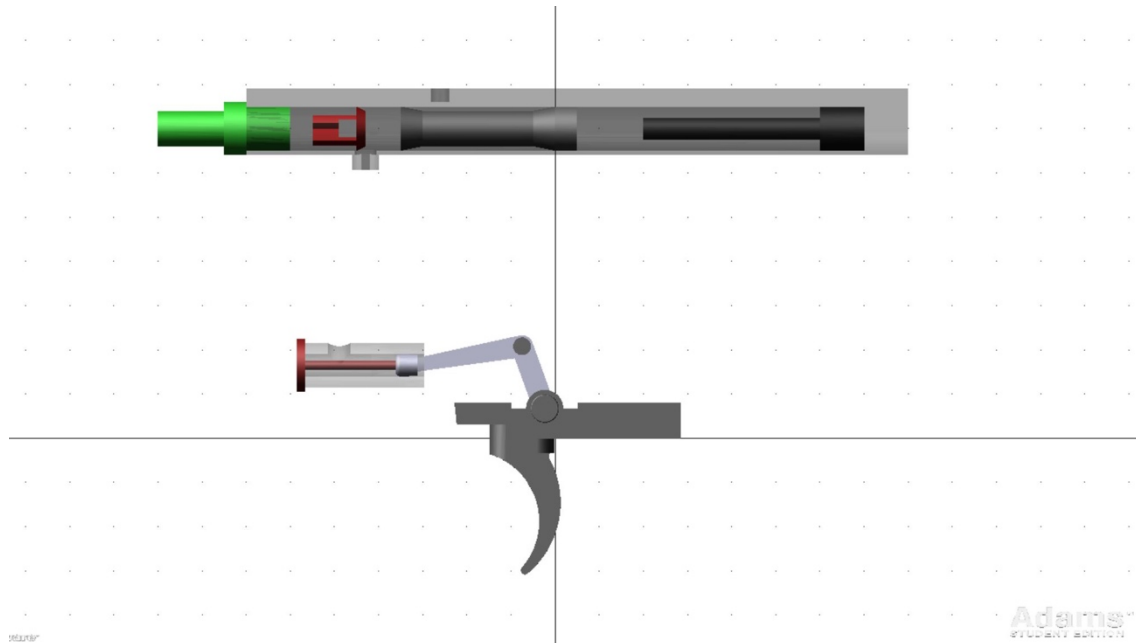


Figura 4.6 – Mecanismo en MSC Adams

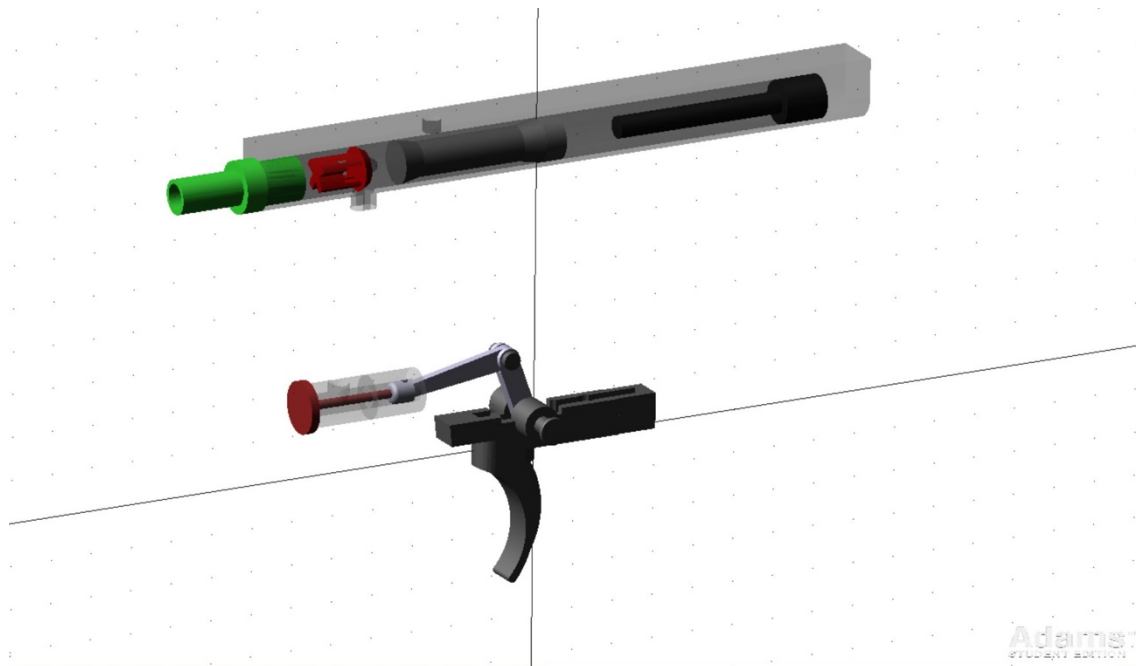


Figura 4.7 – Mecanismo vista isométrica MSC Adams

4.6 Montaje pares cinemáticos:

En primer lugar, vamos a analizar el mecanismo disparador en el que se requieren los siguientes pares cinemáticos.

Los pares característicos del mecanismo manivela-biela-deslizadera son 3 pares de revolución y 1 par prismático.

- Par prismático: Pistón-Corredera
- Par revolución: Biela-Manivela
- Par revolución: Pistón-Biela
- Par revolución: Gatillo-Perno principal

Con ello se obtiene un sistema con una respuesta de 1 grado de libertad a una función escalón.

Para conformar el mecanismo con sus pernos y adaptarlo a el contorno de la carabina M4 también requerimos los siguientes pares cinemáticos:

- Par fijo: Perno principal-Ground
- Par fijo: Gatillo-Manivela
- Par fijo: Perno-Manivela

Acto seguido, analizamos los pares cinemáticos contruidos en el interior de la cámara del sistema neumático:

- Par prismático: Cilindro-Ground (Guiado por un resorte lineal)
- Par cilíndrico: Whirl cylinder valve-Cilindro (Guiado por un resorte lineal)
- Par cilíndrico: Pistón alta presión-Guía Muelle (Guiado por un resorte lineal)
- Par fijo: Cabezal cilindro-Cilindro
- Par fijo: Guía muelle-Cilindro

Montando el siguiente mecanismo podremos simular el movimiento efectuado por las piezas móviles del arma para efectuar un disparo.

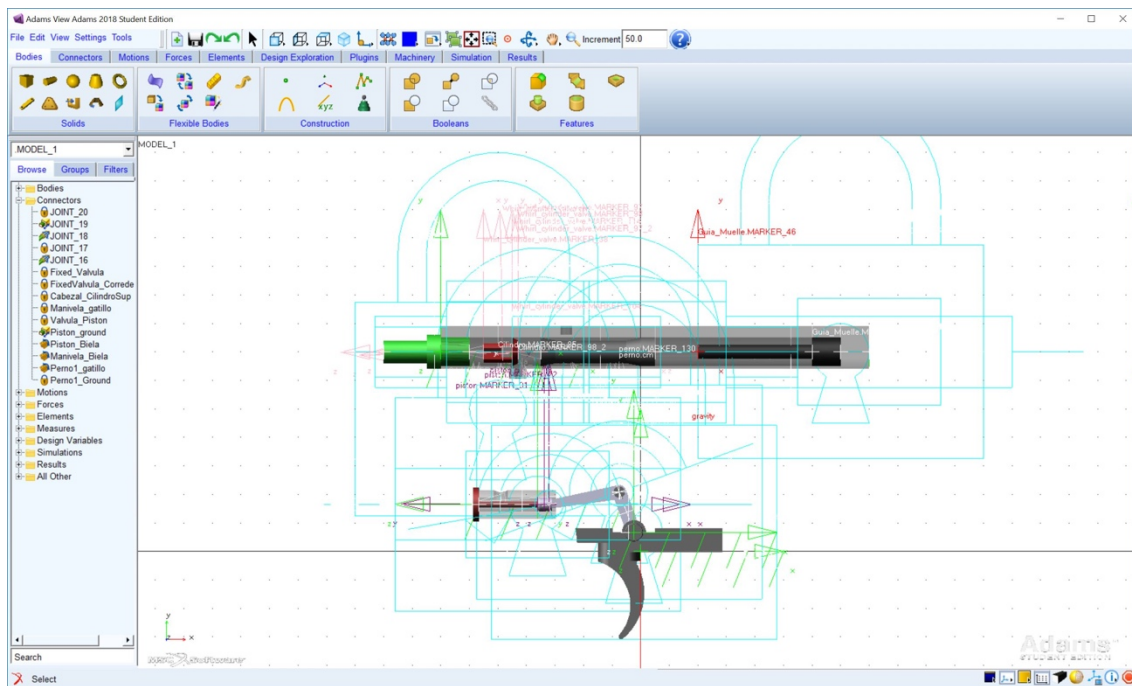


Figura 4.8 – Montaje pares cinemáticos

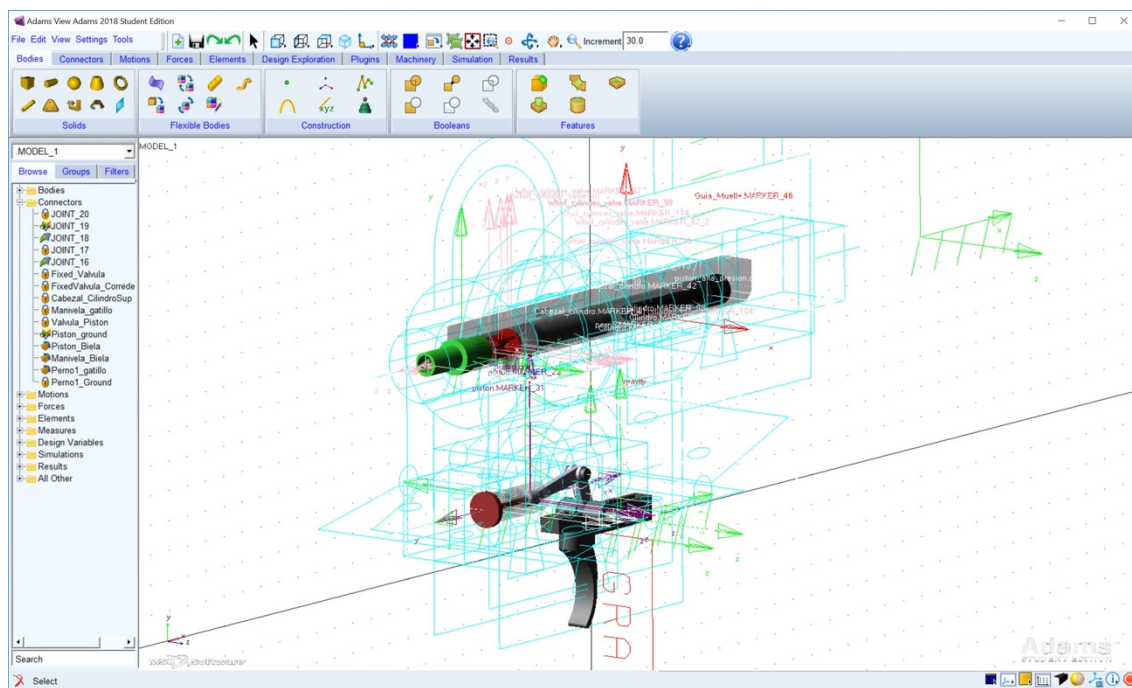


Figura 4.9 – Pares cinemáticos vista isométrica

4.7 Montaje resortes:

En el mecanismo anterior añadimos los siguientes resortes lineales:

Spring-damper1: Par prismático entre el cilindro y la whirl cylinder valve

Se introducirá la constante elástica calculada anteriormente. $K= 471\text{N/m}$

Spring-damper2: Par prismático entre el pistón de alta presión y la guía del muelle.

Se introducirá la constante elástica calculada anteriormente. $K= 2984,5\text{ N/m}$

Spring-damper3: Par prismático entre el cilindro y el ground.

Se introducirá la constante elástica que se determine mediante el software MSC Adams garantizando una deformación máxima menor de 35mm. Se elige $K=1400\text{ N/m}$

También introduciremos al mecanismo un resorte helicoidal en la geometría del gatillo, para garantizar que tras efectuar el disparo el gatillo vuelva a su posición inicial.

En este caso, introduciremos la constante elástica que mediante la simulación en MSC Adams se determine óptima para el funcionamiento del arma. El criterio que seguiremos para determinar la constante elástica óptima será minimizar la fuerza necesaria a efectuar por el tirador con el dedo (dentro de un margen de seguridad) y asegurando el retorno del mecanismo a su posición inicial.

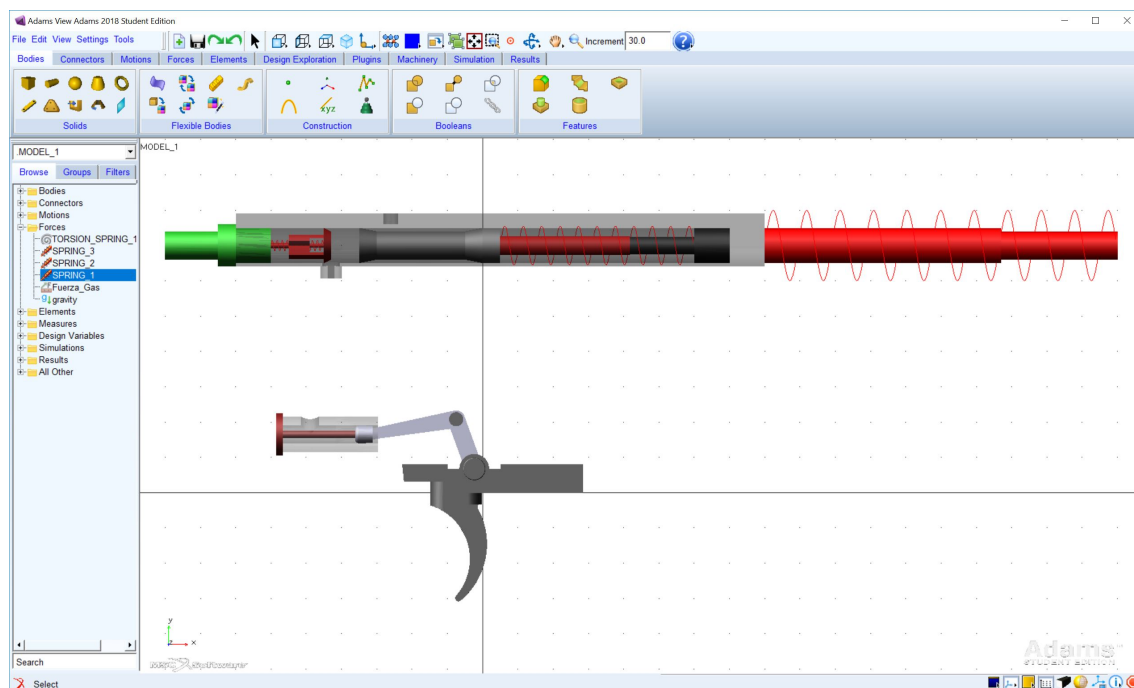


Figura 4.10 – Montaje resortes

4.8 Problema dinámico inverso

A continuación, se programarán los movimientos deseados en los pares cinemáticos del sistema mecánico. Así se obtendrán las solicitaciones de estos y la fuerza externa que se debe aplicar.

4.8.1 Programación movimiento

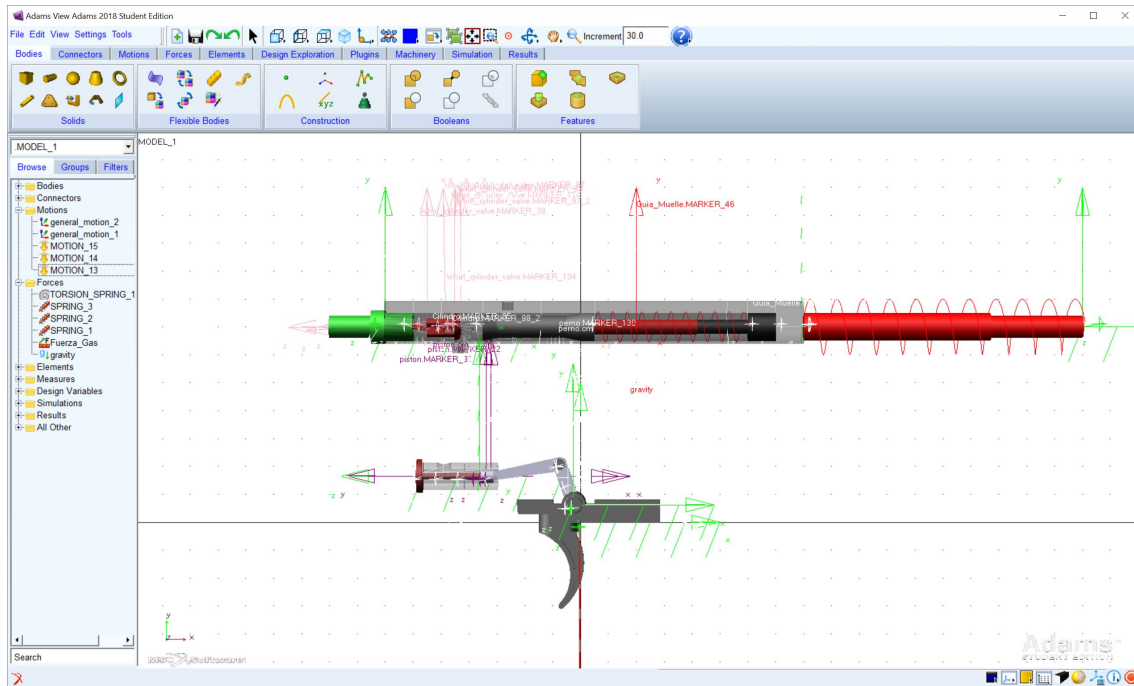


Figura 4.11 – Problema dinámico inverso

Para lograr definir el movimiento del mecanismo deseado se introducen 5 motions. Se describen a continuación:

- General_motion_2: Movimiento que desplaza la válvula de admisión, garantizando así la entrada de gas en el sistema neumático.

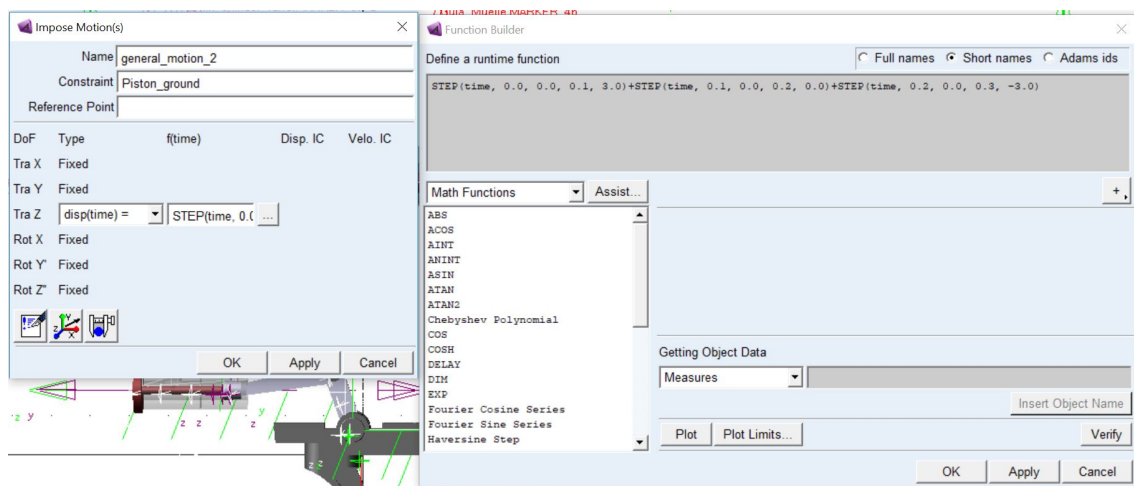


Figura 4.12 – General_motion_2

- General_motion_1: Introduce el giro sobre si misma a la pieza Whirl cylinder valve.

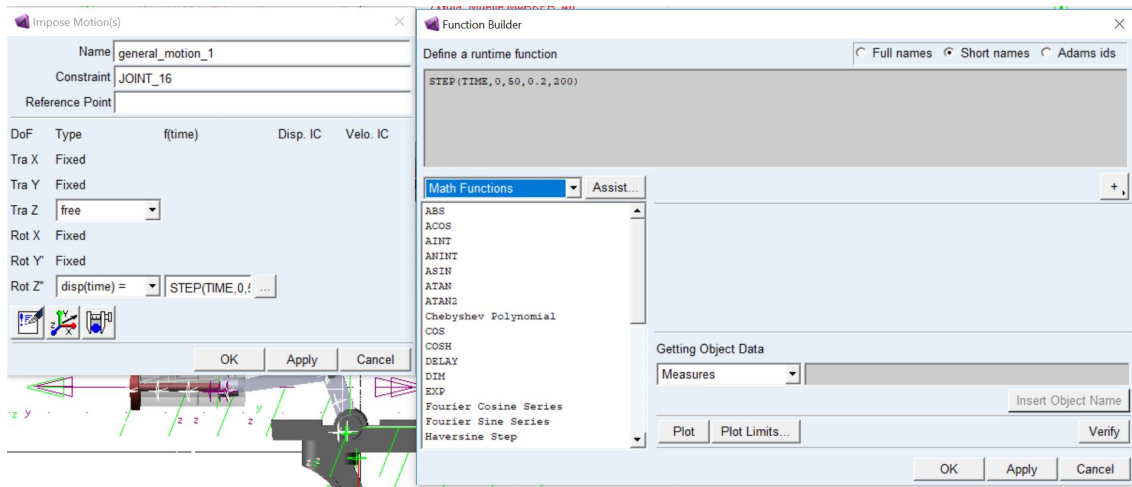


Figura 4.13 – General_motion_1

- Motion_13: Movimiento de traslación de la pieza Whirl cylinder valve.

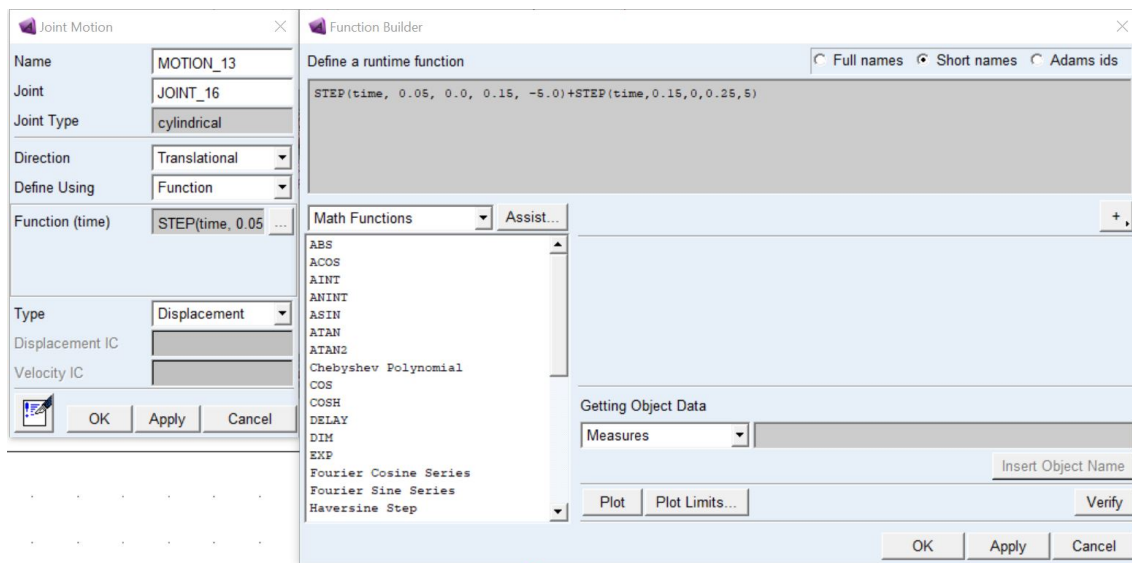
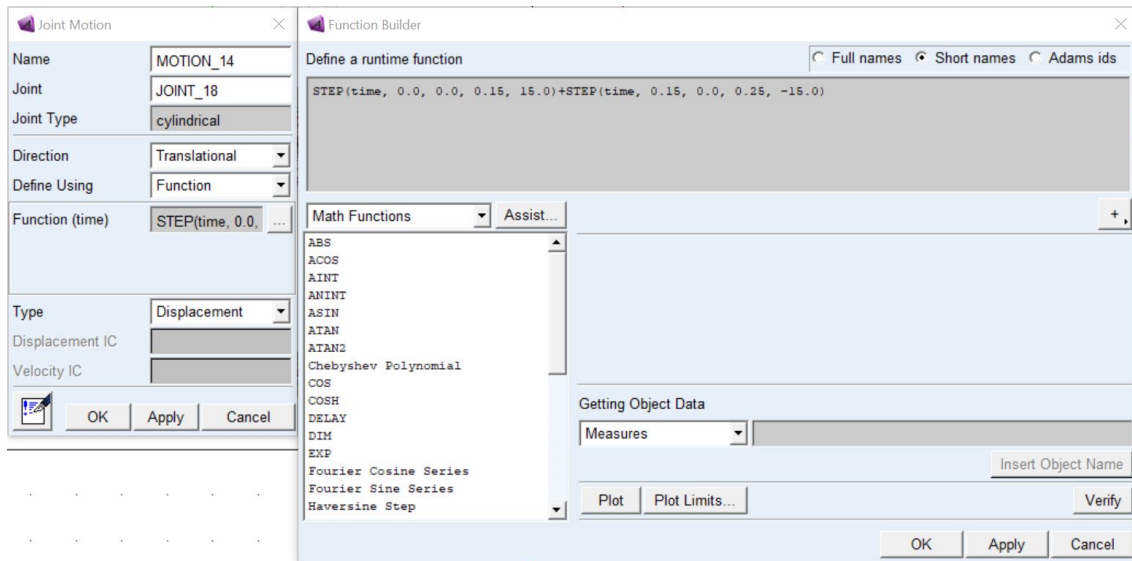


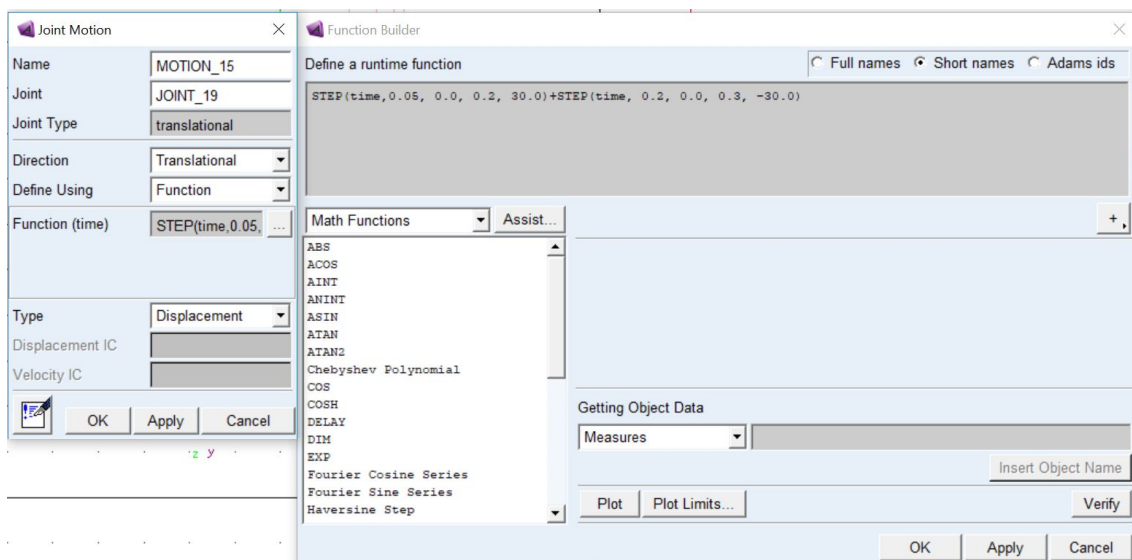
Figura 4.14 – Motion_13

- Motion_14: Movimiento de traslación del pistón de alta presión.



Pieza 4.15 – Motion_14

- Motion_15: Movimiento del subconjunto “Sistema neumático”.



Pieza 4.16- Motion_15

4.8.2 Resultados obtenidos

- Solicitaciones de las piezas:

Como resultado se obtienen los esfuerzos mecánicos, en el orden de Newtons en el eje Y contra el tiempo (segundos) en el eje X, en los pares de restricción de las piezas que conforman el mecanismo. A continuación, las fuerzas en la dirección de los ejes globales X e Y que soportan el par de revolución Manivela_Gatillo y el Perno_Ground.

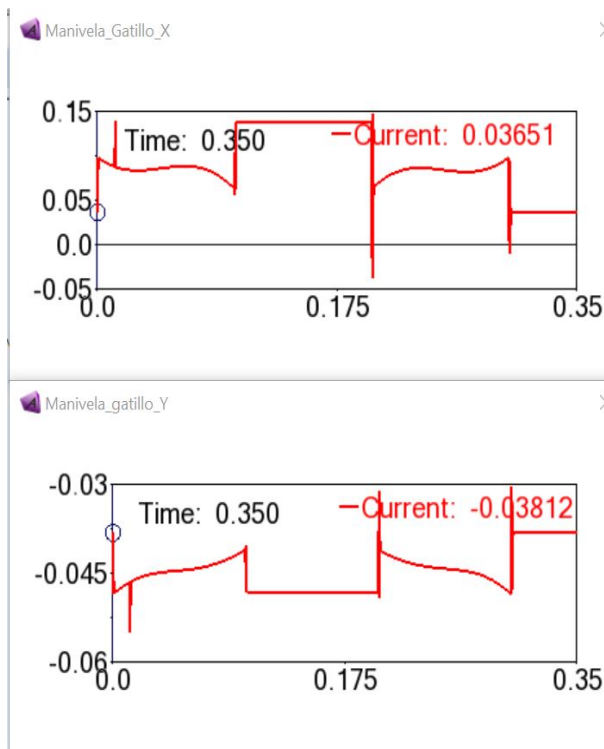


Figura 4.17 – Manivela-Gatillo

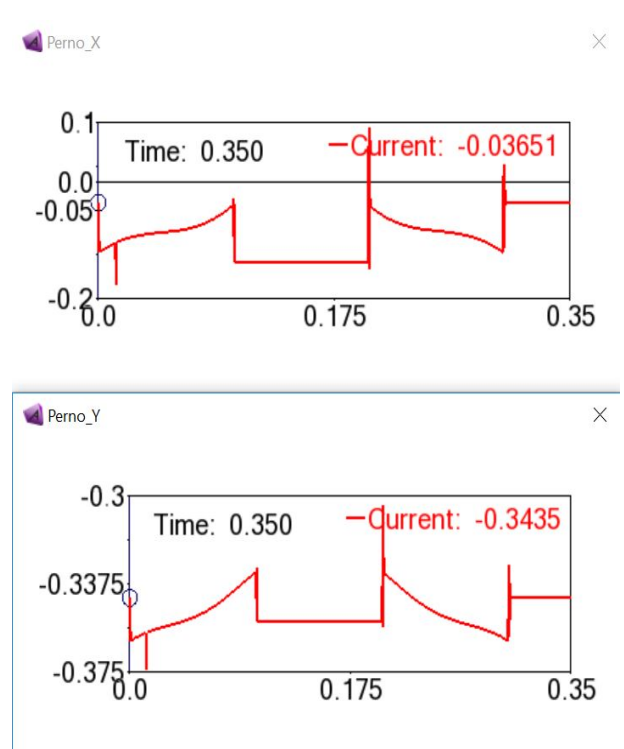


Figura 4.18 – Perno

Además, también realizamos la medida del “Torque” al que se ve sometido el par de revolución Manivela_Gatillo. Pues, se trataría de la fuerza que deberá efectuar el tirador a lo largo de un ciclo de disparo. Dicha fuerza debe ser reducida, pero lo suficiente para no poder activarse sin la acción del tirador. El “Torque” representado en el eje Y se expresa en la unidad del sistema internacional Newtons*Metro.

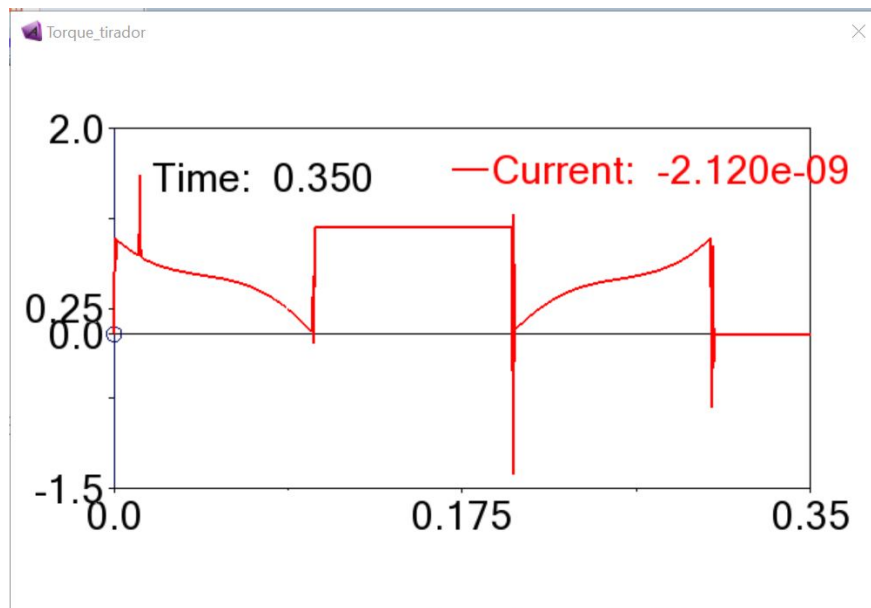


Figura 4.19 – Torque Par de Revolución Manivela_Gatillo

Acto seguido, se adjunta las solicitaciones mecánicas en el par de revolución entre la manivela y la biela. Desde ambas piezas, en los ejes globales X e Y y su correspondiente torque.

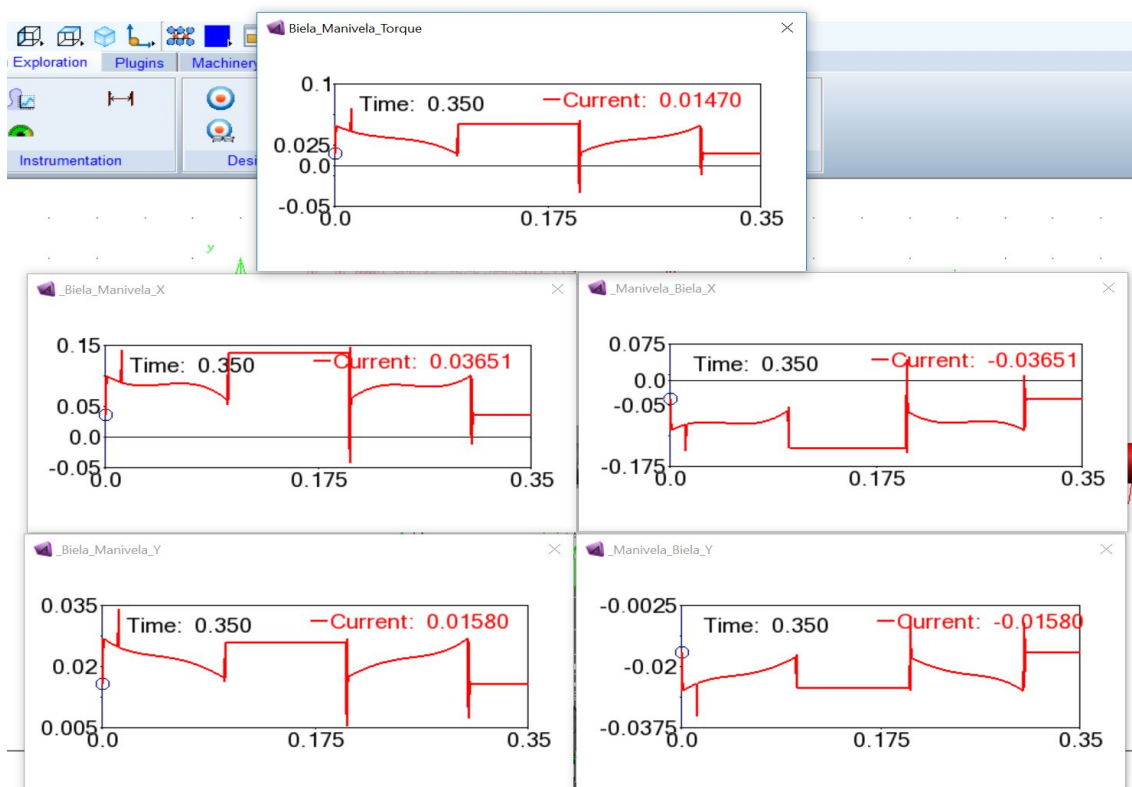


Figura 4.20 – Biela-Manivela

Finalmente, se adjuntan las solicitaciones mecánicas entre el pistón y la biela en la dirección de los ejes globales X e Y

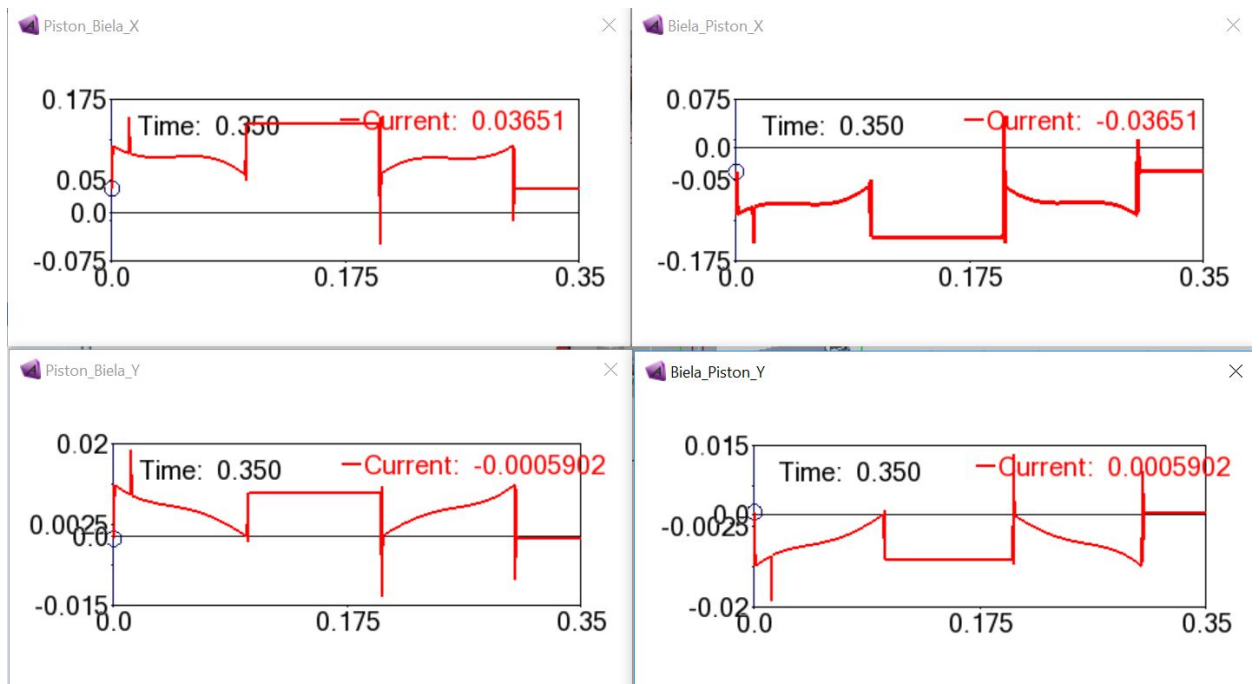


Figura 4.21 – Piston-Biela

- Comportamiento de los resortes:

En este caso en las gráficas de fuerza se representa la fuerza (Newtons) en el eje Y contra el tiempo (segundos) en el eje X. Mientras que, en las gráficas de deformación de representa esta misma en el orden de milímetros en el eje Y contra el tiempo en el eje X.

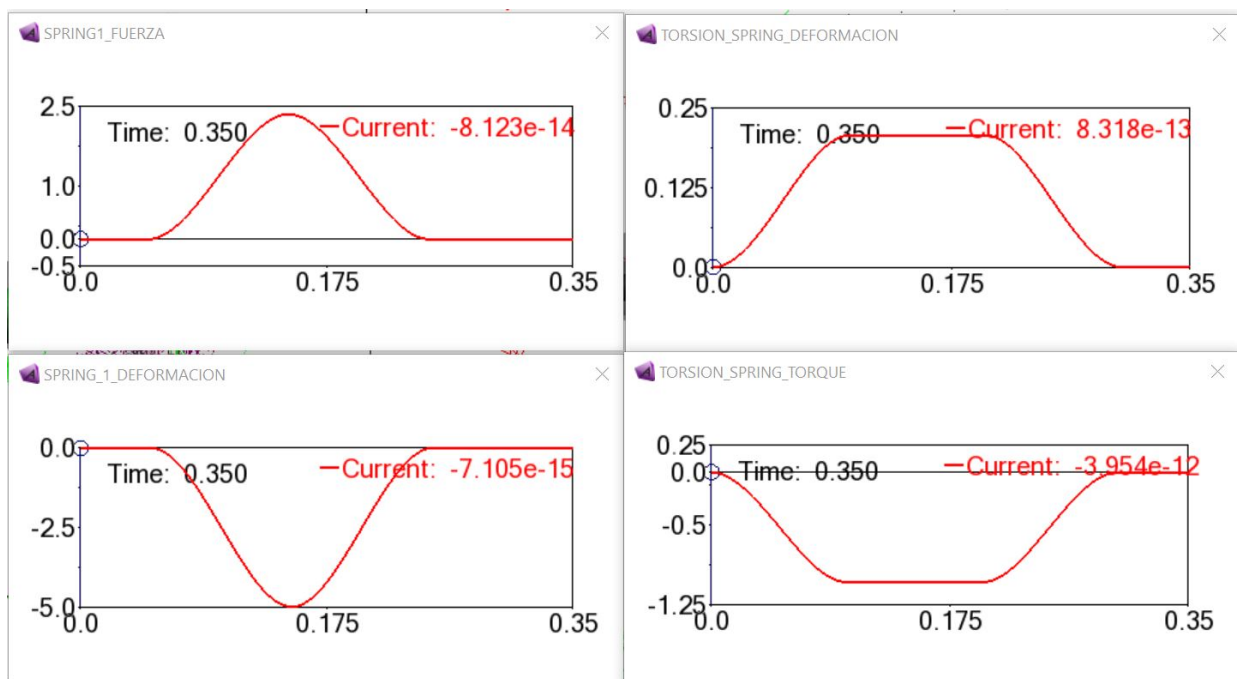


Figura 4.22 – Resorte helicoidal y resorte 1

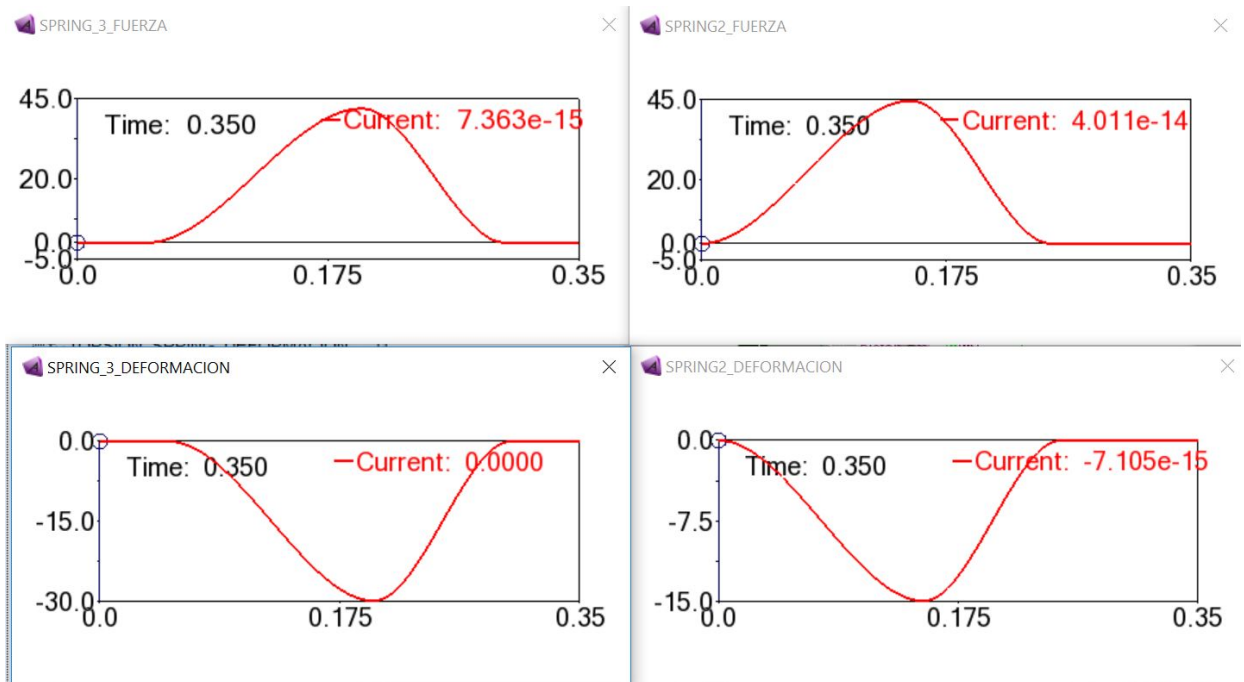


Figura 4.23 – Resorte 2 y 3

- Otros resultados obtenidos:

Además, también se adjunta el movimiento de apertura de la válvula de admisión a lo largo de un ciclo de disparo. Representando en el eje Y, el desplazamiento de la válvula en el orden de milímetros contra el tiempo en el eje X en el orden de segundos

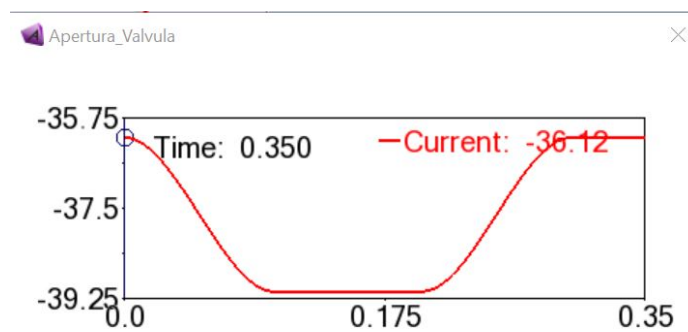


Figura 4.24 – Apertura Válvula

4.9. Problema dinámico directo

Esta vez se actuará de forma análoga al problema dinámico inverso. Marcando como diferencia que en el problema dinámico directo se programan las fuerzas que actúan sobre la carabina M4, estas fuerzas actúan simulando como lo haría el gas a presión en el momento de salida del tanque desplazando las piezas móviles de nuestro sistema mecánico, accionando los resortes y finalmente ejecutando el disparo.

Esta vez también añadimos un nuevo cuerpo al sistema representando el proyectil que este disparará.

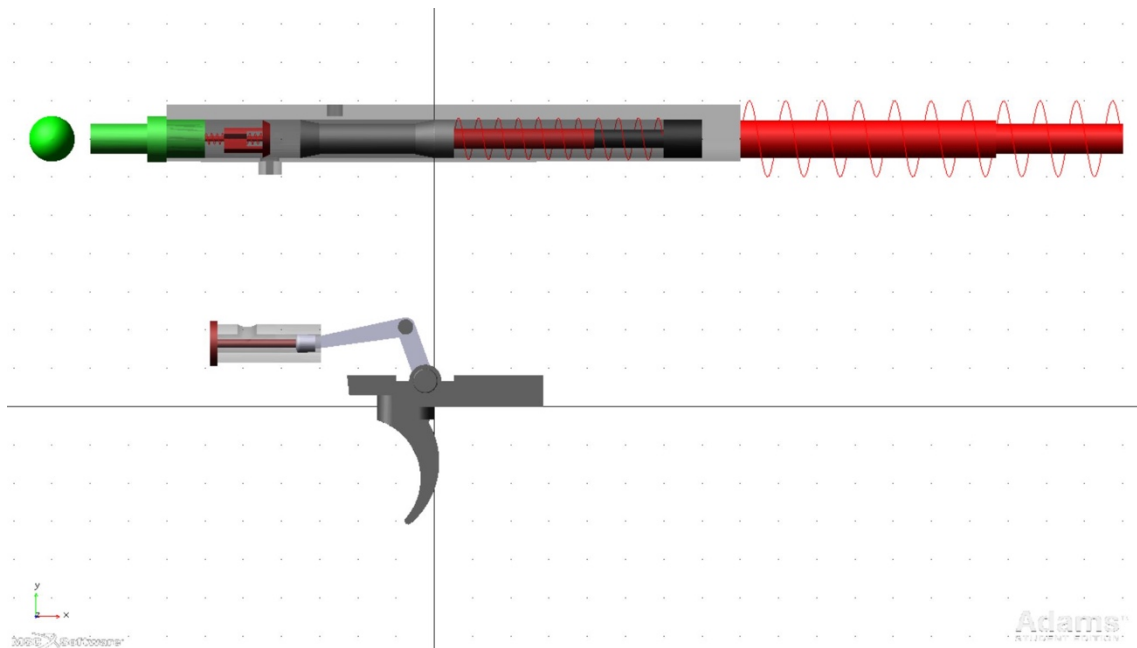


Figura 4.25 – Ensamblado total en MSC Adams

4.9.1 Programación de las fuerzas:

Con el objeto de simular todos los esfuerzos que el gas a presión genera en nuestro sistema mecánico se han introducido un total de 4 fuerzas que se explican en detalle a continuación:

- Fuerza_Gas: Representa la fuerza que generará el gas almacenado en el interior del tanque sobre la válvula de admisión.

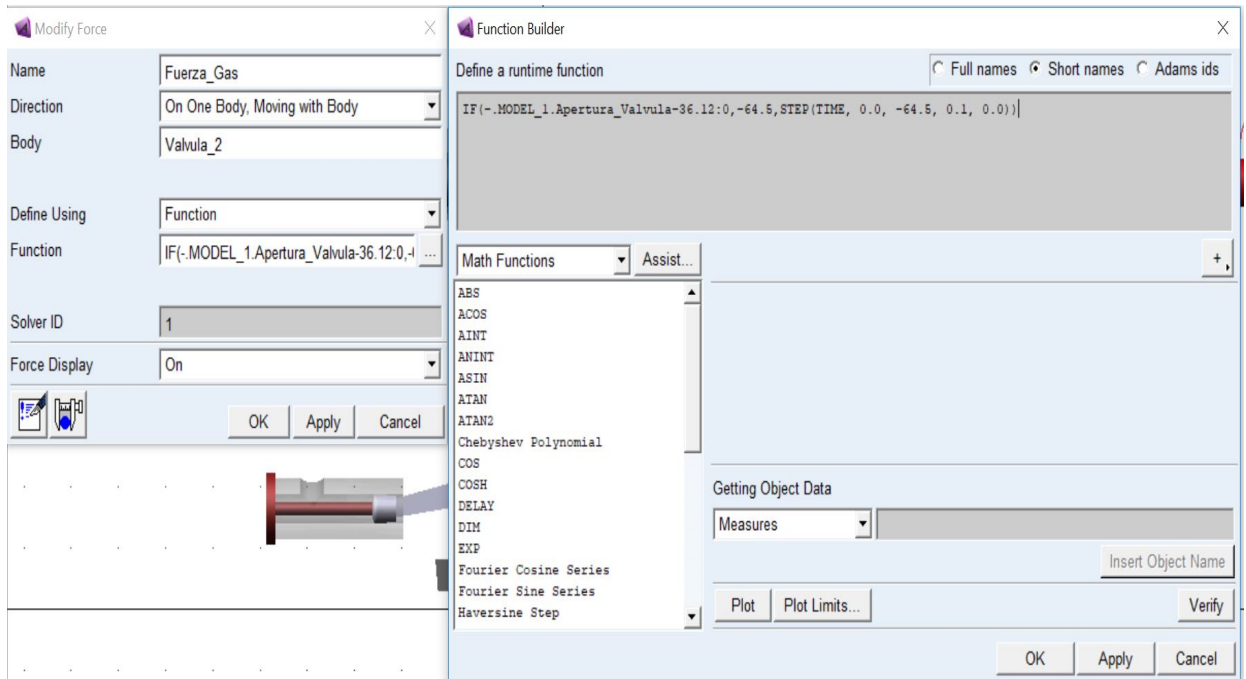


Figura 4.26 – Fuerza del gas en tanque

- Fuerza 1: Representa la fuerza que actúa sobre la Whirl cylinder valve en el sentido positivo del eje de coordenadas globales X. Esta misma fuerza será la que proporcionará el empuje a la Bb.

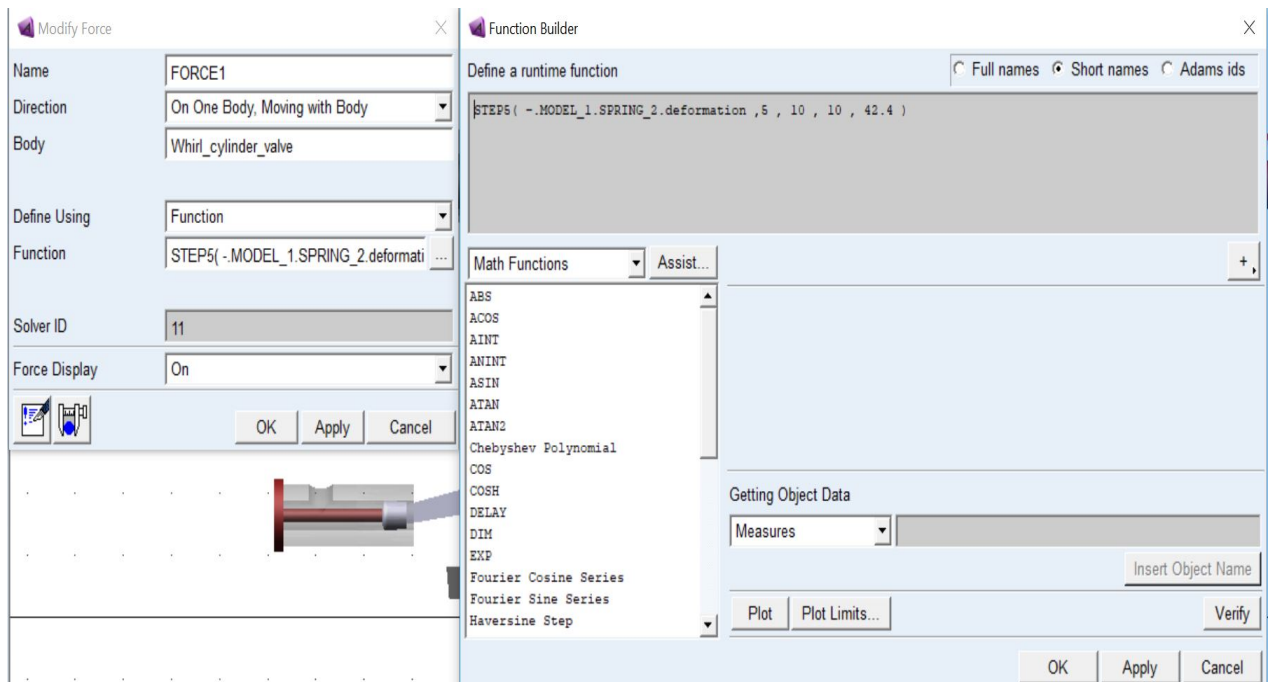


Figura 4.27 – Fuerza 1

- Fuerza 2: Representa la fuerza que actúa sobre la Whirl cylinder valve en el sentido negativo del eje de coordenadas globales X.

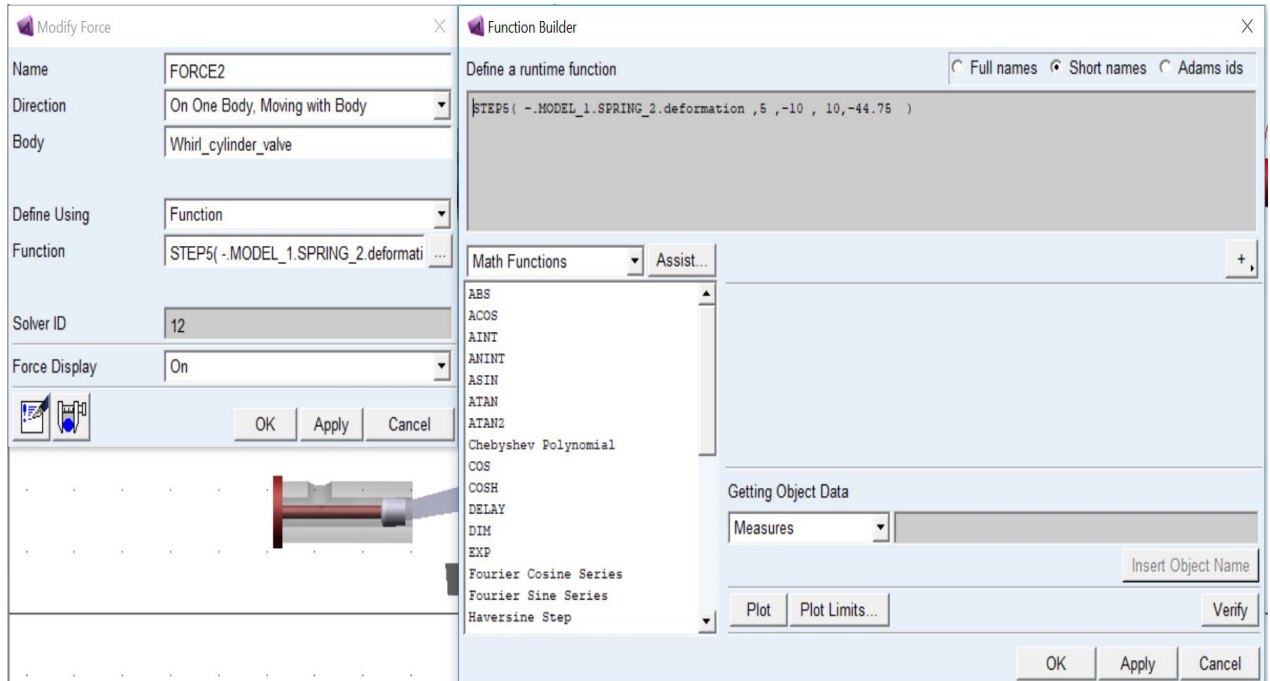


Figura 4.28 – Fuerza 2

- Fuerza 3: Representa la fuerza que actúa sobre el pistón de alta presión en la dirección del eje de coordenadas globales X, en sentido positivo.

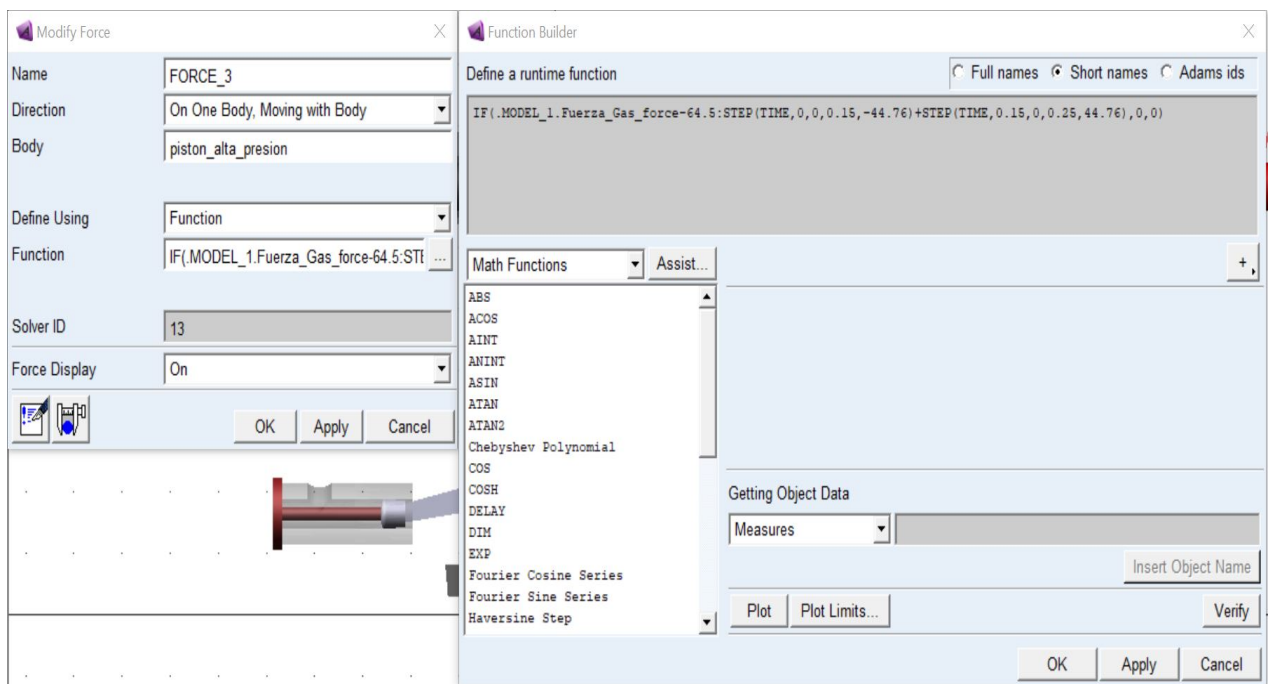


Figura 4.29 – Fuerza 3

4.9.2 Resultados de la simulación:

De forma análoga al caso de la simulación dinámica inversa se mostrarán los resultados obtenidos. Manteniendo el tiempo en el eje X, en el orden de segundos. Mientras que en el eje Y se representarán fuerzas en el orden de Newtons o deformaciones en el orden de milímetros.

- Comportamiento de las fuerzas:

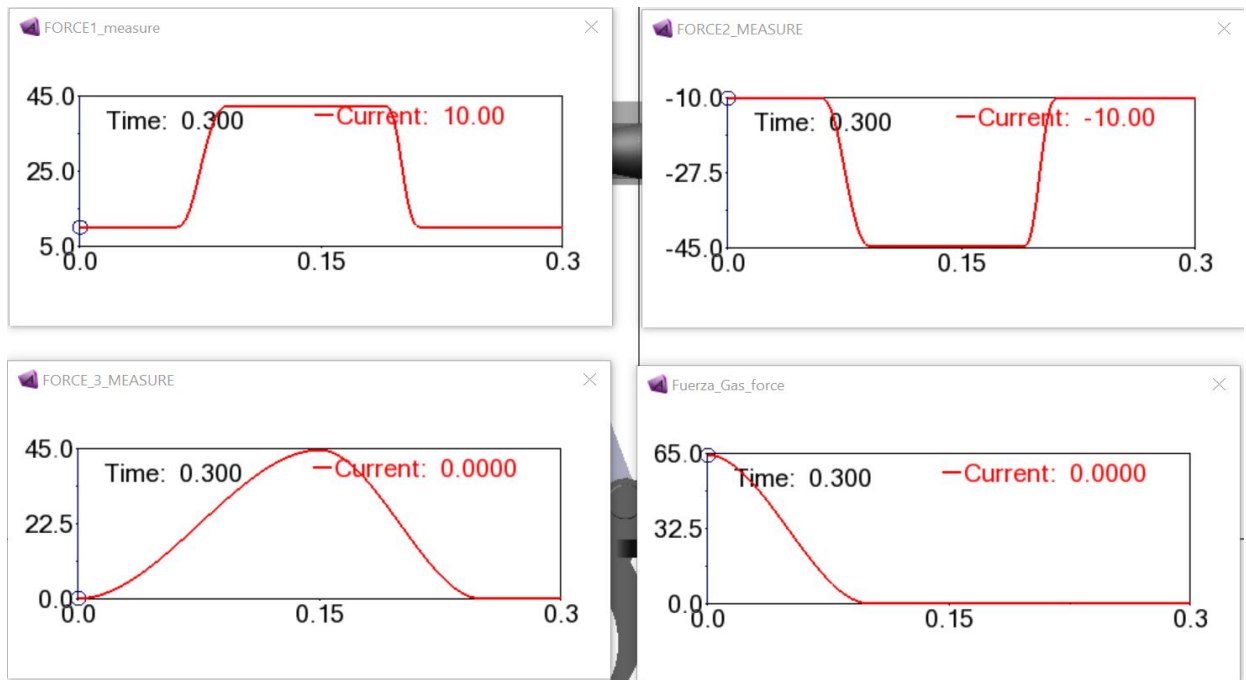


Figura 4.30 – Representación fuerzas programadas.

- Comportamiento de los resortes:

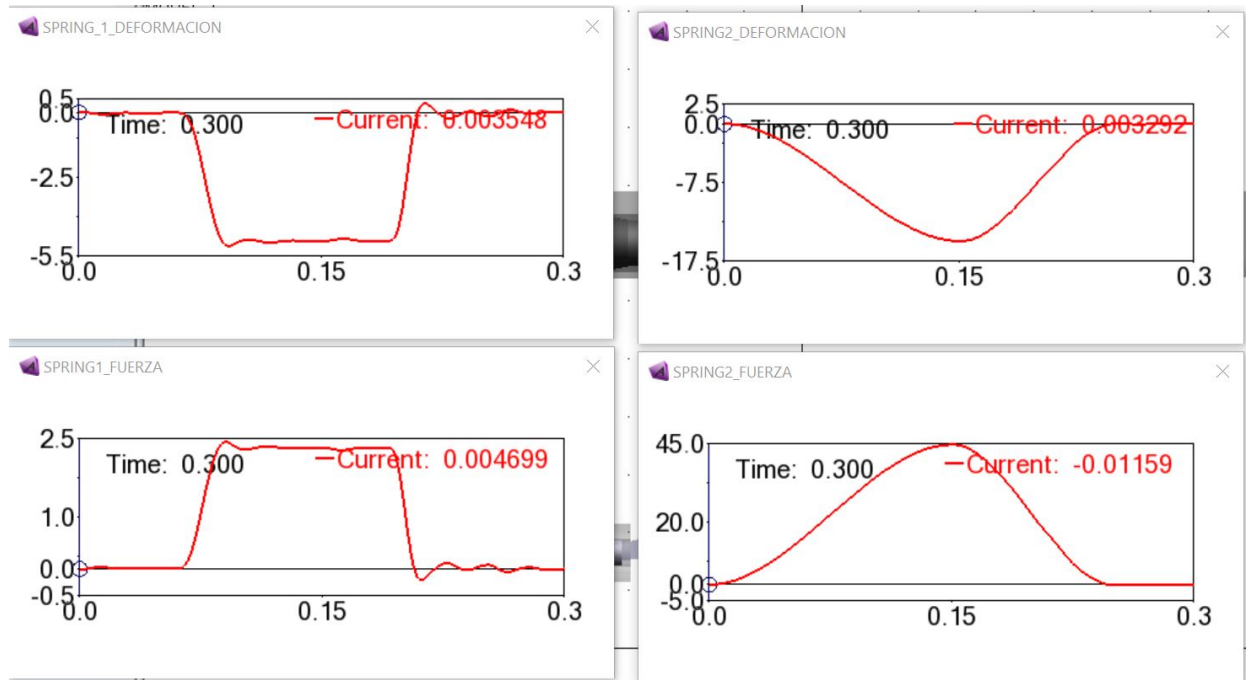


Figura 4.31 – Resortes 1 y 2

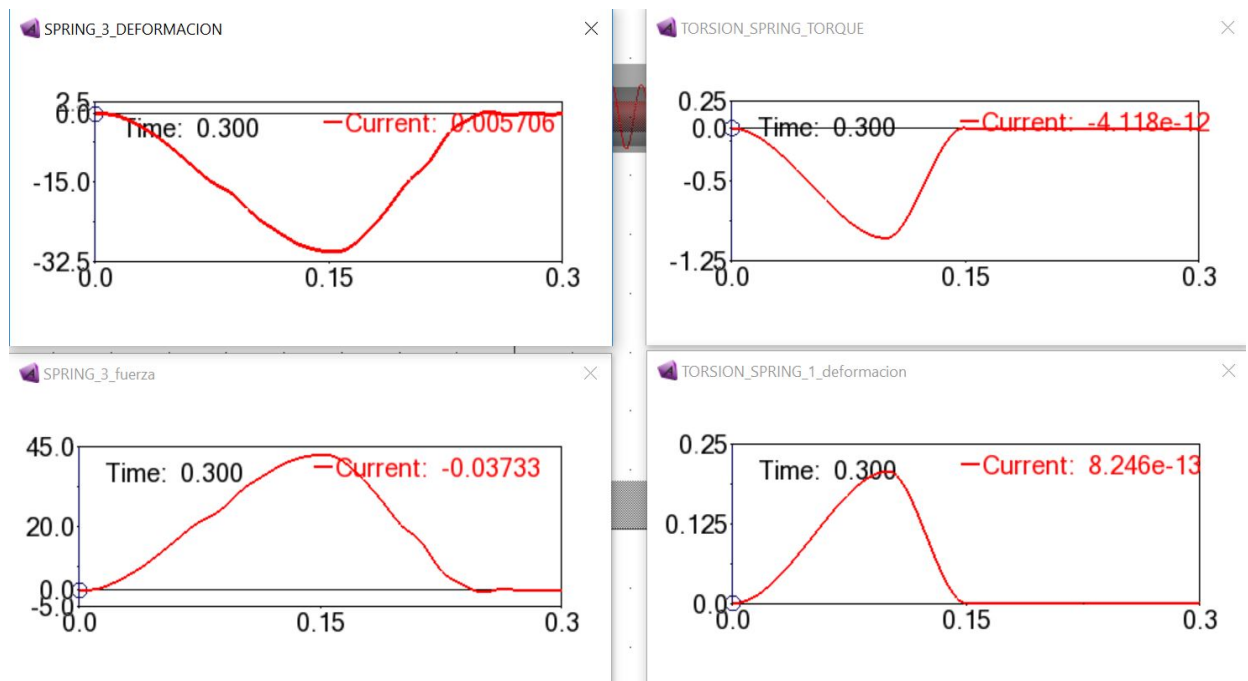


Figura 4.32 – Resorte 3 y helicoidal

5. Conclusión

Tras la realización de la simulación dinámica de nuestro proyecto mecánico sabemos cual es su comportamiento frente a las fuerzas que el gas a presión ejercerá. Como propuesta de mejora se propone calcular según los esfuerzos mecánicos que se causarán en las piezas, si los materiales seleccionados cumplen con las especificaciones necesarias.

Además también se podría proseguir el proyecto con el diseño CAM realizando así la integración de los diseños CAD-CAE-CAM, sin embargo dicha parte queda fuera del objeto de este proyecto.

Mediante este proyecto he puesto en práctica parte de los conocimientos adquiridos durante mi estancia en la Universitat Politècnica de Valencia. Tratando de crear un prototipo de un producto real, modelando dicho producto en CAD para su posterior análisis dinámico. Se trata de la creación de un prototipo y de la creación de las herramientas necesarias para optimizar el funcionamiento del prototipo actual pudiendo así realizar un producto competente y llamativo en el mercado. Así se han sentado las bases que un ingeniero debería usar durante diferentes fases de diseño en una empresa real.

- Posibles mejoras:

- Seleccionar los materiales en función de los esfuerzos mecánicos obtenidos durante la simulación mecánica, teniendo como objeto la reducción de peso del ensamblado.

- Mejorar la cadencia obtenida, disminuyendo las fuerzas de inercia que se crearan como consecuencia del movimiento de la corredera o “sistema neumático” en el organigrama técnico del proyecto.

- Instalación de Hop-Up en el cañon y simulación dinámica de cómo influye este a la trayectoria de la Bb.

- Implantación de un selector de fuego Semi-Ráfaga-Auto

6. Bibliografía:

1. Patentes:

[1] Gas powered gun

<https://patents.google.com/patent/US5257614A/en> (20/05/18)

[2] Firearm with gas operated recharge mechanism:

<https://patents.google.com/patent/US5404790A/en> (17/05/18)

[3] Pneumatic firing device:

<https://patents.google.com/patent/US9638490B1/en> (9/06/18)

[4] Projectile launcher with reduced recoil and anti-jam mechanism:

<https://patents.google.com/patent/US20110232618A1/en> (2/06/18)

[4] Toy gun mechanism with a sliding bolt assembly:

<https://patents.google.com/patent/US7946283B2/en> (5/05/18)

[6] How M4 carabine works?

https://www.youtube.com/watch?v=V_RfiKEvoGA (28/04/18)

[7] Artículo científico armas de dióxido de carbono

<https://tirodeportivo.wordpress.com/2009/01/14/propiedades-de-presion-psi-en-armas-de-co2/> (16/06/18)

[8] Gas Vs Electric gun

<http://www.020mag.com/tecnico/222/gbb-vs-ebb> (1/05/18)

2. Libros:

[9] Libro ayuda MSC Adams

http://www.mssoftware.com/sites/default/files/Book_Adams-Tutorial-ex17-w.pdf

[10] Libro ayuda Autodesk Inventor

<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/ESP/?guid=GUID-30A44ECF-9CA2-4AA7-AD02-C7AB8845C39>

[11] Roda Buch, A., Mata Amela, V., & Albelda Vitoria, J. (2016). Máquinas Y Mecanismos.

[12] López Díaz-Delgado, E., & Martínez Vicente, S. (2000). Iniciación a La Simulación Dinámica.

[13] Shabana, A. (2013). Dynamics of Multibody Systems.

II. Pliego de condiciones

Índice pliego de condiciones:

1. Objeto
2. Condiciones generales
 - 2.1 Disposiciones generales
 - 2.2 Condiciones de contrato
3. Especificaciones de equipo
4. Condiciones de cálculo
5. Extensiones del presente documento
6. Condiciones de interpretación de los resultados
7. Condiciones facultativas
 - 7.1 Obligaciones y funciones la dirección técnica:
 - 7.2 Obligaciones y derechos del contratista:
8. Prescripciones generales relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares
 - 8.1 Trabajo
 - 8.2 Materiales
 - 8.3 Medios auxiliares
9. Condiciones económicas
 - 9.1 Fianza
 - 9.2 Mejoras y modificaciones
 - 9.3 Abono de los trabajos
 - 9.4 Penalizaciones

1. Objeto:

Dicho documento conlleva como finalidad dirigir la elaboración y el uso de los métodos utilizados para la resolución del problema planteado por el proyecto. Este proyecto no se trata de ejecución de materia, sino de diseño y análisis, por lo que el presente pliego de condiciones no obedece al criterio general.

A lo largo de este documento, se fijará:

- 1) Condiciones de uso del software utilizado
- 2) Condiciones de cálculo
- 3) Extensión de las partes de las que consta el proyecto
- 4) Condiciones de aplicación de los métodos utilizados

Este documento es de obligado cumplimiento y servirá de guía al proyectista mecánico que dirija el proyecto. En caso de contradicción entre los planos y memoria o pliego de condiciones, prevalecerá el texto de los últimos. En caso de contradicción entre estos, prevalecerá la memoria si la incompatibilidad se refiere a cálculos y prevalecerá el pliego en cualquier otro caso.

2. Condiciones Generales:

2.1 Disposiciones generales:

Este documento conlleva como finalidad regular la ejecución del proyecto, así como fijar las condiciones que corresponder al promotor, fabricante y proyectista. Además de las relaciones que puedan llevarse a cabo entre ellos. La aceptación por parte de las partes contratantes de las especificaciones expuestas en este pliego obliga a su aceptación y cumplimiento sin discusión o modificación posibles, y con arreglo al mismo han de poder resolverse todas las dudas que pudieran surgir durante la ejecución material del proyecto.

Se trata de un documento facultativo, económico y legal que regirá el satisfactorio desarrollo del proyecto en cada uno de sus módulos.

2.2 Condiciones de contrato:

Se trata de condición necesaria la firma del pliego de condiciones, con conocimiento de causa, del fabricante para garantizar el correcto desarrollo del proyecto.

El contrato queda descrito en las siguientes unidades:

- Condiciones fijadas en el documento de contrato
- Pliego de condiciones
- Otra documentación: Planos y memoria

3. Especificaciones de equipo:

Con la finalidad de poder establecer los criterios evaluados a lo largo del proyecto, seguidamente se definen las condiciones de trabajo necesarias para poder usar cada medio del proyecto.

- Condiciones técnicas:

Definiendo los requerimientos de software empleados durante el modelado en CAD y el análisis CAE del proyecto, se representan las versiones del software usados, así como las especificaciones mínimas de computador para su visualización y aplicación en el estudio.

-MSC Adams View 2018 Student version, licencia obtenida de acceso estudiantil asociada a la Universitat Politècnica de Valencia

-Autodesk Inventor Professional 2019, licencia obtenida de acceso estudiantil, asociada a la Universidad Universitat Politècnica de Valencia

Los anteriores softwares fueron usados en el sistema operativo Windows 10 mediante bootcamp en MacOS High Sierra, licencia de Windows 10 obtenida de acceso estudiantil asociada a la Universitat Politècnica de Valencia mediante el programa Dreamspark.

Los requerimientos mínimos del ordenador para utilizar los anteriores programas son:

CPU: 2,5 GHz

RAM: 8GB

Espacio en disco duro: 50GB

Gráficos: 1 GB de GPU con 29 GB/s de ancho de banda y compatibilidad con DirectX 11

Red: Conexión para posibilitar el acceso a los servidores de licencia

4. Condiciones de cálculo:

Los cálculos realizados a lo largo del proyecto se han realizado teniendo en cuenta la ley BOE-A-1982-29442 - Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP7 del Reglamento de Aparatos a Presión sobre botellas y botellones de gases comprimidos licuados y disueltos a presión.

5. Extensiones del presente documento:

El documento de estructura en 4 unidades. La primera parte del proyecto, objeto y antecedentes en los que se describe la introducción, presentación y motivación del

proyecto, así como el marco actual en el que se desarrolla el presente documento.

La siguiente parte diseño CAD, describe el funcionamiento y estructura del mecanismo que se ha seleccionado para abordar el problema. Junto con su posterior creación virtual y ensamblaje.

Por último, el diseño CAE donde se analizan la cinemática y dinámica del mecanismo descrito anteriormente a lo largo de un ciclo de funcionamiento, o disparo.

6. Condiciones de interpretación de los resultados:

Las fuerzas simuladas en la simulación dinámica se describen en concordancia al sistema de coordenadas generales del MSC Adams. La nomenclatura utilizada para dar nombre a las ventanas gráficas, que representan esfuerzos en pares cinemáticos, sigue el siguiente esquema: Pieza1_Pieza2

Donde:

Pieza1: Pieza en la que se producen las sollicitaciones mecánicas

Pieza2: Segunda pieza que conforma el par cinemático

Cabe mencionar que a lo largo de la simulación dinámica se simulan fuerzas para sustituir el comportamiento del dióxido de carbono. Estas fuerzas se simulan como fuerzas puntuales, cuando en realidad se trataría de fuerzas distribuidas. Aun así, se considera que la fidelidad de la simulación es significativa.

7. Condiciones facultativas:

7.1 Obligaciones y funciones la dirección técnica:

-Exigir la modificación o agregación de nuevos elementos al sistema si así lo cree conveniente, siempre y cuando no constituya una variación excesiva sobre el proyecto inicial.

- Redactar las modificaciones o complementos al proyecto cuya necesidad se haga patente durante su ejecución.

- Asistir al proceso de fabricación tantas veces como sea necesario y con el objetivo de resolver los problemas que puedan surgir, así como dar instrucciones complementarias para su correcta realización.

-Coordinar la intervención en la fabricación de otros técnicos que, subordinados a la dirección, tienen responsabilidades en la ejecución del proyecto dentro del campo que es de su especialidad particular.

- Dirigir la ejecución material del proyecto con arreglo a las reglas técnicas, al presente proyecto y a las reglas de la buena construcción.
- Realizar una planificación sobre el control de calidad.

7.2 Obligaciones y derechos del contratista:

- Adecuación de conocimiento del proyecto técnico
- Conocer normativa aplicable
- Facilitar al ingeniero Técnico director los materiales necesarios para la correcta ejecución del proyecto, siendo consciente que éstos se deben proporcionar con un periodo de tiempo adecuado para que su ejecución cumpla los tiempos de fabricación previamente estipulados.
- El contratista solo podrá presentar reclamaciones de carácter económico a través del Ingeniero Técnico Director. En cambio, las reclamaciones de carácter técnico no serán admitidas por éste.
- Las modificaciones realizadas en el proyecto, así como las aclaraciones añadidas e interpretaciones deberán comunicarse por escrito al contratista.
- El fabricante no tendrá derecho a rechazar al Ingeniero Técnico Director o al personal designado por éste para la supervisión de las operaciones de fabricación.
- Se podrá requerir al contratista su cese en casos de desobediencia, negligencia o incompetencia manifiesta.

8. Prescripciones generales relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares.

8.1 Trabajo:

- El orden de trabajo será designado por la contrata, salvo en caso de casos ajenos a circunstancias técnicas generales o conocidas.
- Todos los trabajos serán ejecutados estrictamente en el orden que así ordene el Ingeniero Técnico Jefe, el proyecto técnico y en caso de haberlas, sus modificaciones

8.2 Materiales:

- En caso que los materiales proporcionados para la fabricación no cumplan con las condiciones descritas en el pliego de condiciones, memoria o planos. Es responsabilidad del Ingeniero Técnico Director proporcionarlos.

8.3 Medios auxiliares:

- Los trabajos sin prescripción en este documento, podrán ser efectuadas por el contratista atendiendo a las órdenes dictadas por la dirección facultativa.

- Se admitirá una prórroga al fabricante en caso que esta sea causada por hechos ajenos a su responsabilidad y siempre que, el Ingeniero Técnico Director acepte dicha decisión.

9. Condiciones económicas:

En este apartado se describen y regulan las relaciones entre propiedad y contrata.

9.1 Fianza:

El contratista deberá depositar una fianza que se establecerá según el cálculo de los trabajos ejecutados por la contrata. Sirviendo como garantía a la hora de firmar el contrato y se realiza mediante un aval en la misma firma. En este proyecto la fianza tendrá un valor del 6% del coste después de impuestos del proyecto.

9.2 Mejoras y modificaciones:

Toda mejora o modificación que se realice por deseo de la propiedad, correrá a su cargo. Las modificaciones por parte del contratista no modificarán el precio inicial presupuestado.

9.3 Abono de los trabajos:

Cuando la propiedad reciba el prototipo, dispondrá de 60 días naturales para efectuar el pago a la contrata.

La modalidad de dicho pago será previamente acordada entre propiedad y contrata.

9.4 Penalizaciones:

Se contemplan dos tipos de penalizaciones:

- Penalización por demora

En este caso no se computan los días ocasionados por motivos de fuerza mayor como catástrofes o causas administrativas.

- Penalización por incumplimiento de contrata
- Penalización por demora de pago

En caso que la parte contratante no efectúe los pagos en el mes siguiente a la fecha estipulada de pago, el contratista tendrá derecho de percibir una cantidad extra del 4,5% anual en concepto de intereses de demora sobre importe de la certificación. Si, en cambio,

transcurren hasta tres meses desde la fecha inicialmente acordada de pago el contratista podrá resolver el contrato, procediendo a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y materiales acopiados. En caso de que se incumpla alguno de los puntos acordados en el contrato, la penalización será la rescisión de éste.

III. Planos

Índice Planos

Organigrama de planos:

1. Conjunto “Réplica carabina M4”
2. Subconjunto “Sistema neumático”
 - 2.1 Pieza “Cilindro”
 - 2.2 Pieza “Guía muelle”
 - 2.3 Pieza “Pistón de alta presión”
 - 2.4 Pieza “Whirl cylinder valve”
 - 2.5 Pieza “Cabezal cilindro”
3. Subconjunto “Válvula de admisión”
 - 3.1 Pieza “Tapa”
 - 3.2 Pieza “Cuerpo”
4. Subconjunto “Disparador”
 - 4.1 Pieza “Gatillo”
 - 4.2 Pieza “Perno Gatillo-Manivela”
 - 4.3 Pieza “Manivela
 - 4.4 Pieza “Perno Manivela-Biela”
 - 4.5 Pieza “Biela”
 - 4.6 Pieza “Pistón”
 - 4.7 Pieza “Deslizadera”
5. Subconjunto “Cargador”
 - 5.1 Pieza “Cuerpo”
 - 5.2 Pieza “Cargador cilíndrico”
 - 5.3 Pieza “Elemento de empuje”
 - 5.4 Pieza “Tanque”
 - 5.5 Pieza “Elemento aislante”
 - 5.6 Pieza “Soporte”
6. Subconjunto “Cañón”

IV. Presupuesto

1. Introducción:

A lo largo de este capítulo se pretende estimar los costos del proyecto que se ha llevado a cabo. Para ello se tendrán en cuenta las horas empleadas en cada uno de los apartados y el material requerido para ello, definiendo así los costos asociados. Cabe destacar que se trata de una estimación de costos.

Primero desglosaremos los recursos utilizados y estimaremos el coste de ellos. Obteniendo así los presupuestos parciales. Seguidamente, tendremos en cuenta los recursos empleados por el abanico total del proyecto donde obtendremos el coste estimado total del proyecto.

2. Recursos:

Con el objetivo de tener en cuenta la totalidad de recursos utilizados en el ámbito del proyecto debemos tener en cuenta los siguientes tipos de recursos

2.1 Recursos humanos:

- Alumno/Ingeniero de proyecto
- Tutor/Ingeniero encargado del proyecto

2.2 Hardware y software

- Ordenador portátil
- Licencia de Autodesk Inventor
- Licencia de MSC Adams
- Licencia de Numbers

3. Presupuestos parciales:

Con el objeto de cuantificar el coste total del proyecto, dividimos el proyecto total en las siguientes unidades de obra.

Estudio inicial sobre las armas de gas comprimido y sus aplicaciones en el mercado

Descripción	Tiempo Invertido (Horas)	Coste (€/Horas)	Importe (€)
Ingeniero/Estudiante	30	20	600
Medios Auxiliares (1 %)			6
Total			606

Estudio de mercado

Descripción	Tiempo Invertido (Horas)	Coste (€/Horas)	Importe (€)
Ingeniero/Estudiante	20	20	400
Licencia Numbers	20	0,15	3
Medios Auxiliares (1 %)			4,03
Total			407,03

Diseño CAD

Descripción	Tiempo Invertido (Horas)	Coste (€/Horas)	Importe (€)
Ingeniero/Estudiante	150	20	3000
Licencia Autodesk Inventor	100	0,75	75
Tutor UPV	7	25	175
Total			3250

Diseño CAE

Descripción	Tiempo Invertido (Horas)	Coste (€/Horas)	Importe (€)
Ingeniero/Estudiante	115	20	2300
Licencia MSC Adams	115	0,6	69
Tutor UPV	8	25	200
Total			2569

4. Presupuesto total:

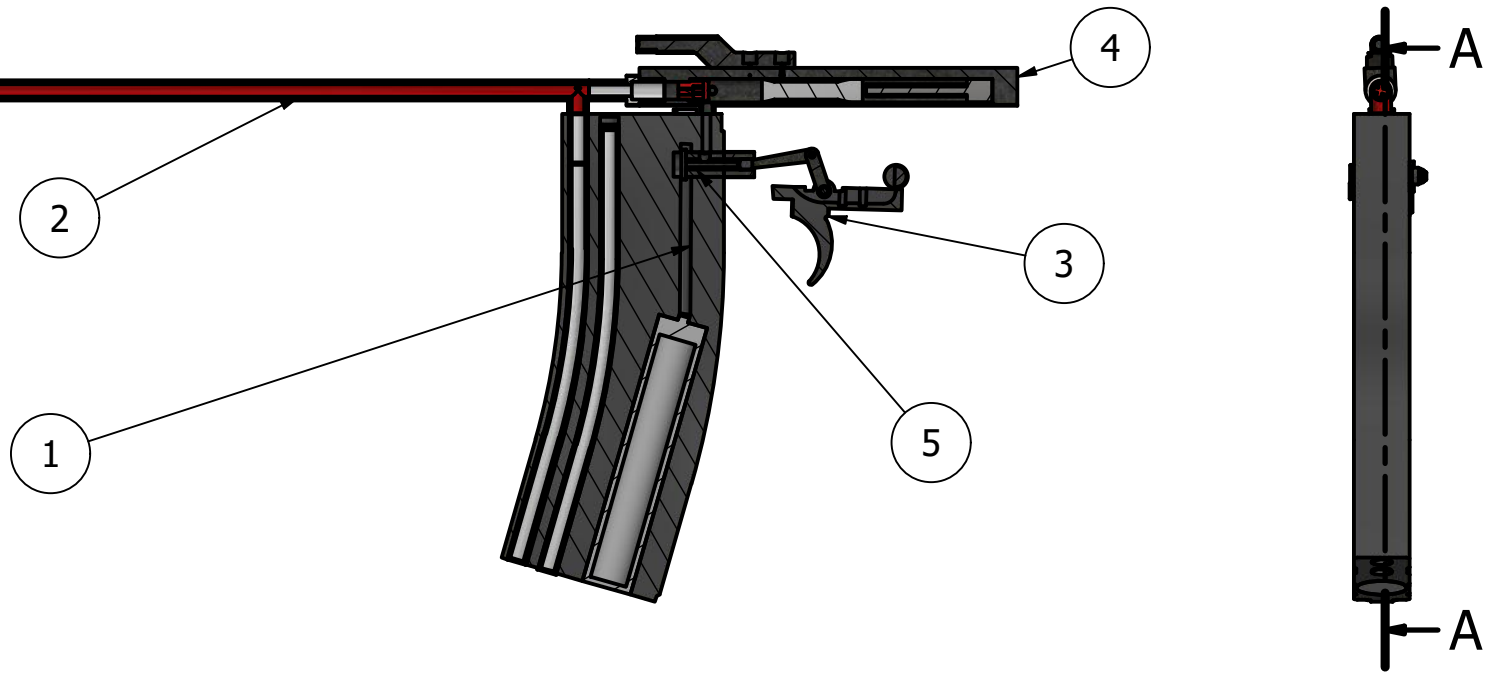
Presupuesto de ejecución material y de contrata

Descripción	Importe
Estudio inicial	606,00 €
Estudio de mercado	407,03 €
Diseño CAD	3.250,00 €
Diseño CAE	2.569,00 €
Total Ejecución Material	6.832,03 €
13% Gastos Generales	888,16 €
6% Beneficio industrial	409,92 €
Total Ejecución Por Contrata	8.130,12 €
21% I.V.A	1.707,32 €
Total presupuesto	9.837,44 €

Por tanto, el presupuesto total del proyecto llevado asciende a la siguiente cantidad expresada en euros:

NUEVE MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y SIETE EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

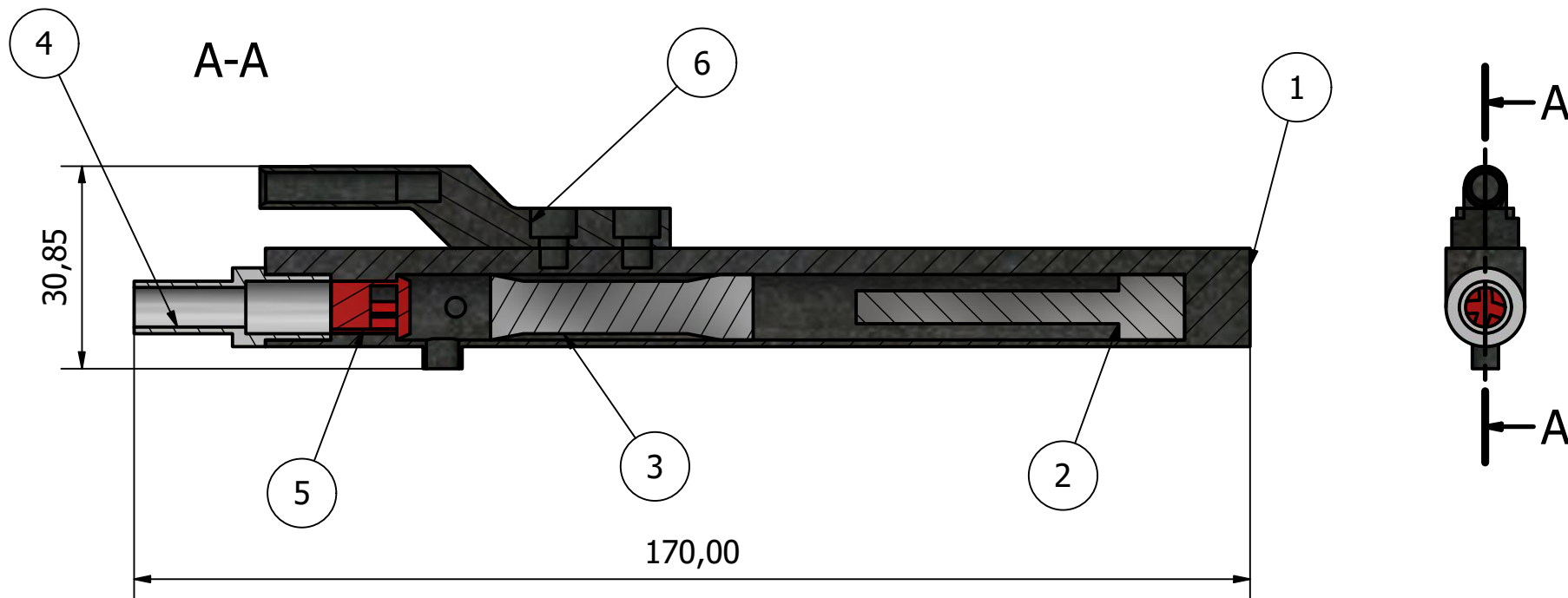
A-A



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Ensamblaje Cargador
2	1	Cañon
3	1	Ensamblaje Gatillo
4	1	Ensamblaje Corredera
5	1	Valvula

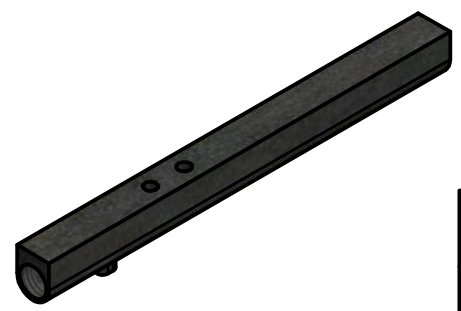
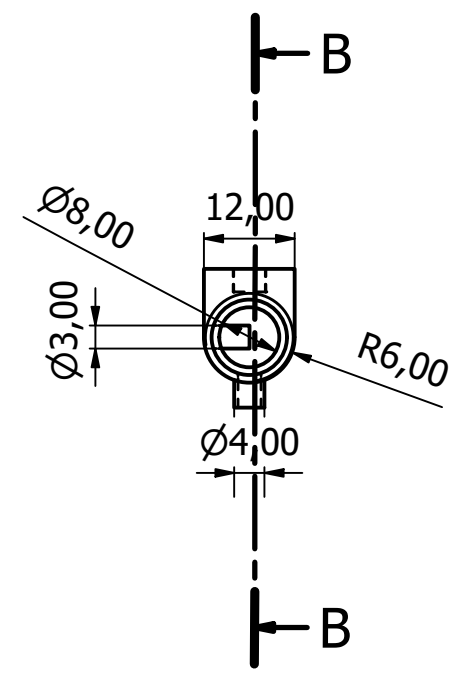
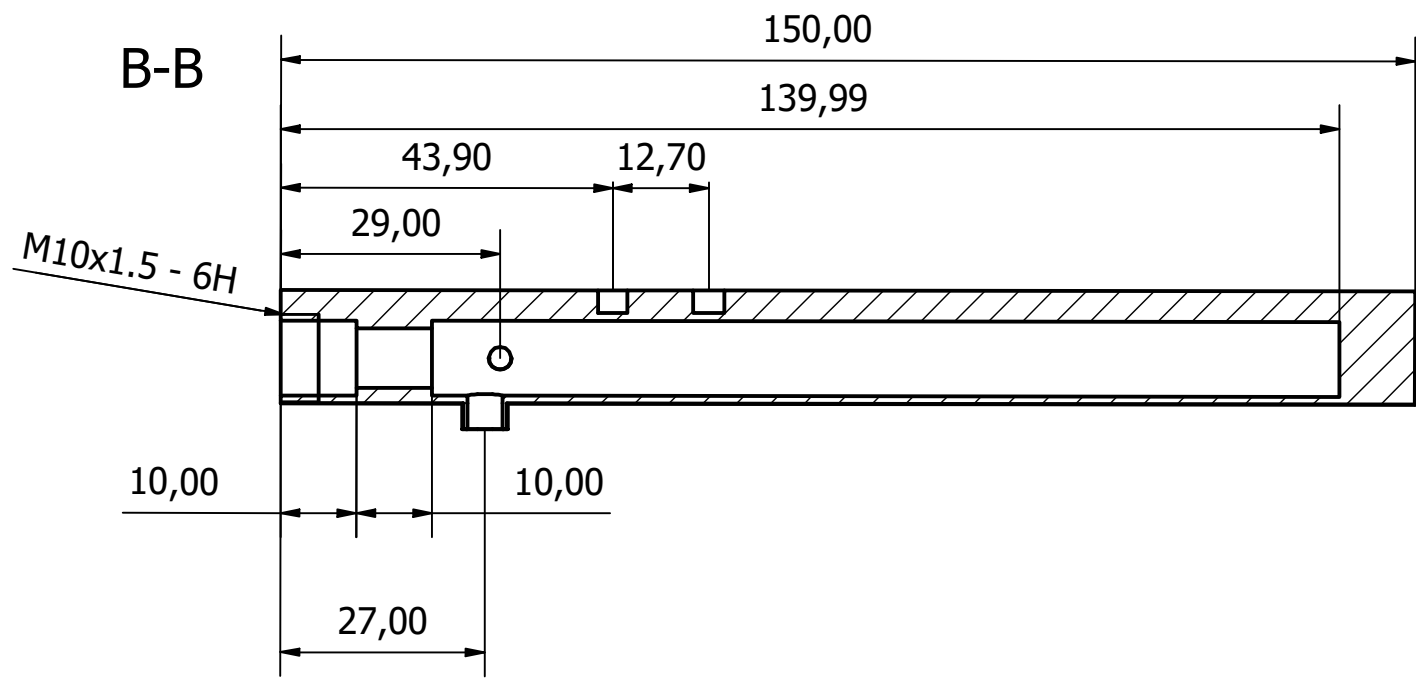
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Ensamblaje total		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 1
		Firmado: Héctor		



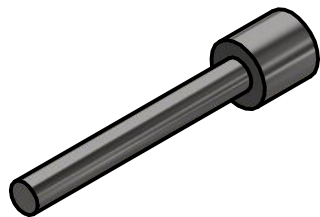
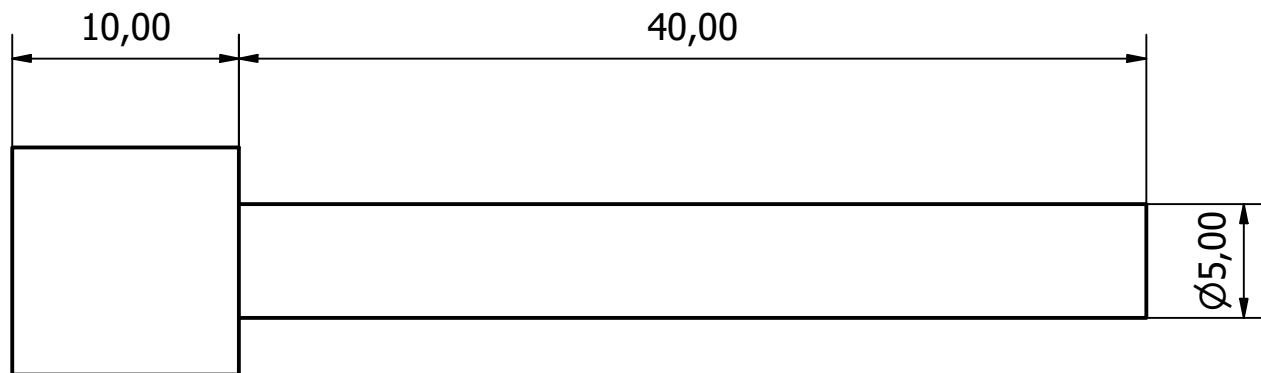
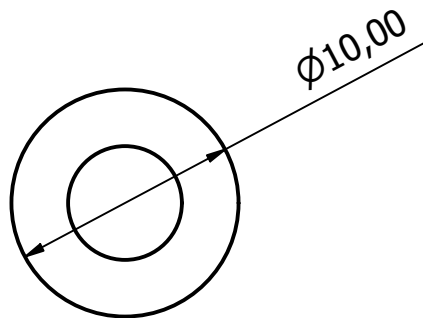
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	1	Cilindro	Acero
2	1	Guía Muelle	Acero, carbono
3	1	Piston alta presion	Aluminio 6061
4	1	Cabezal cilindro	Plástico ABS
5	1	Whirl cylinder valve	Plástico ABS
6	1	M4 LLaves	Acero

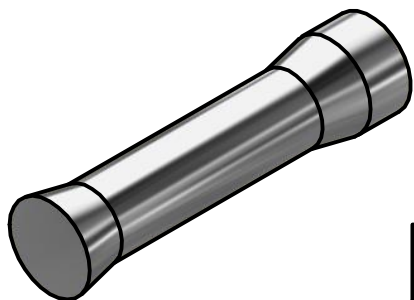
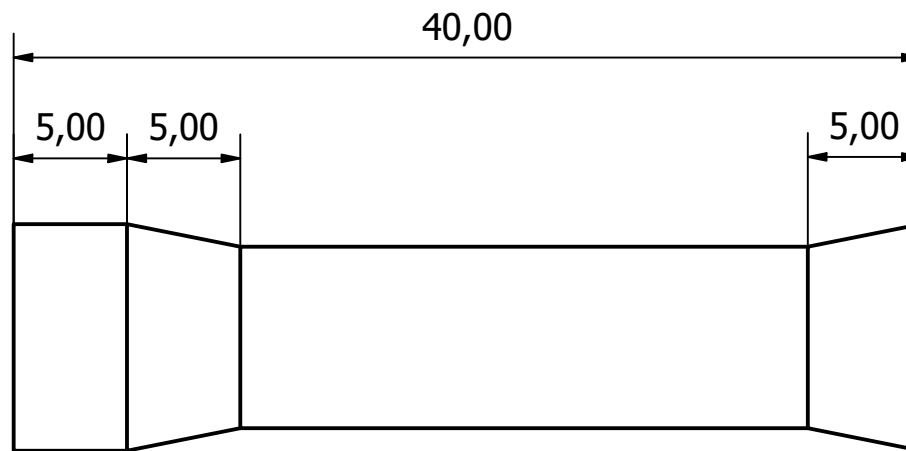
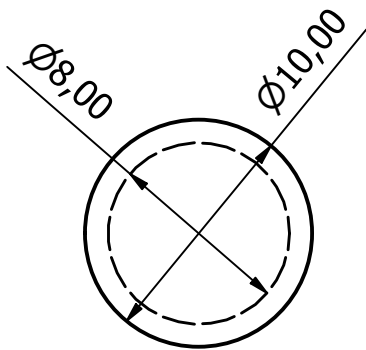
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido	
Universitat Politècnica de Valencia		Sistema neumático	
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1
		Nº de plano: 2	Firmado: Héctor



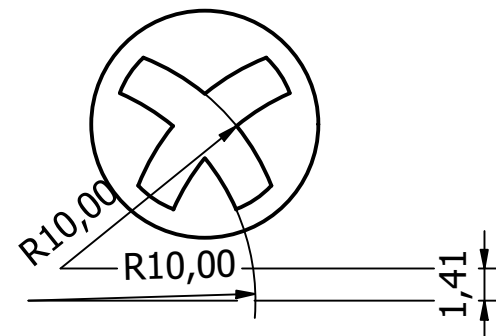
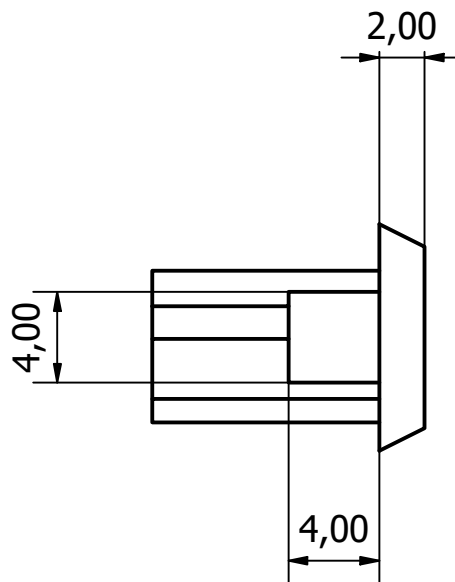
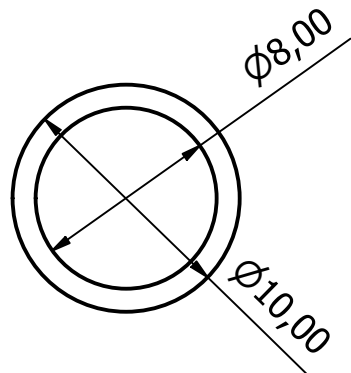
Autor:	Tutor:	Título del proyecto:			
Héctor Giner	Javier Carballeira	Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido			
Universitat Politècnica de Valencia		Cilindro			
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 3	Firmado: Héctor



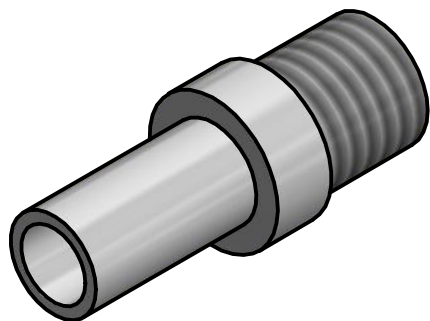
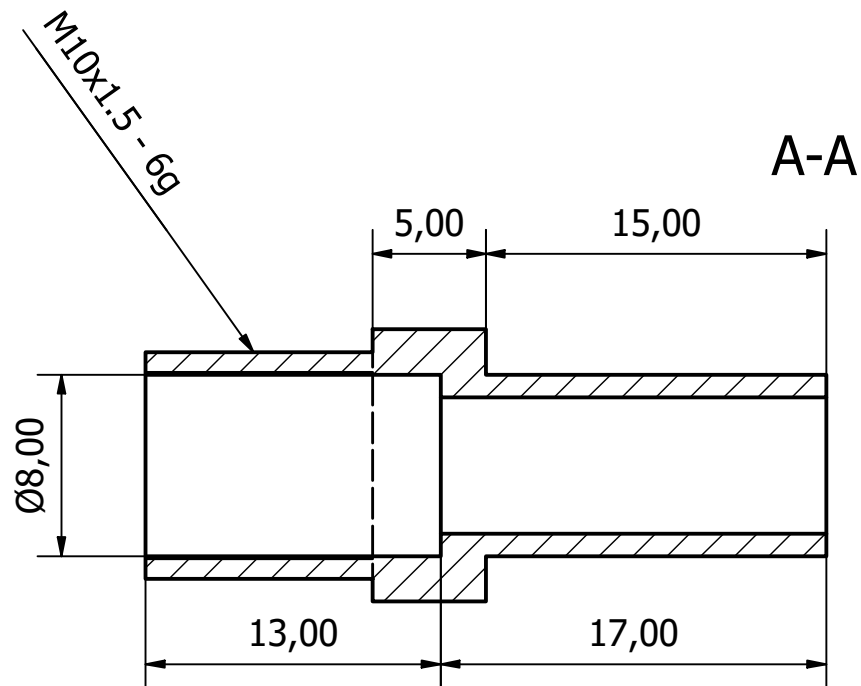
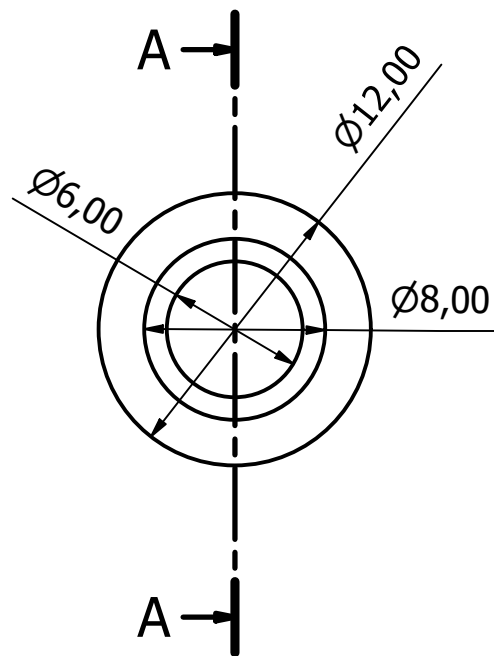
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Guía muelle		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 4
		Firmado: 		



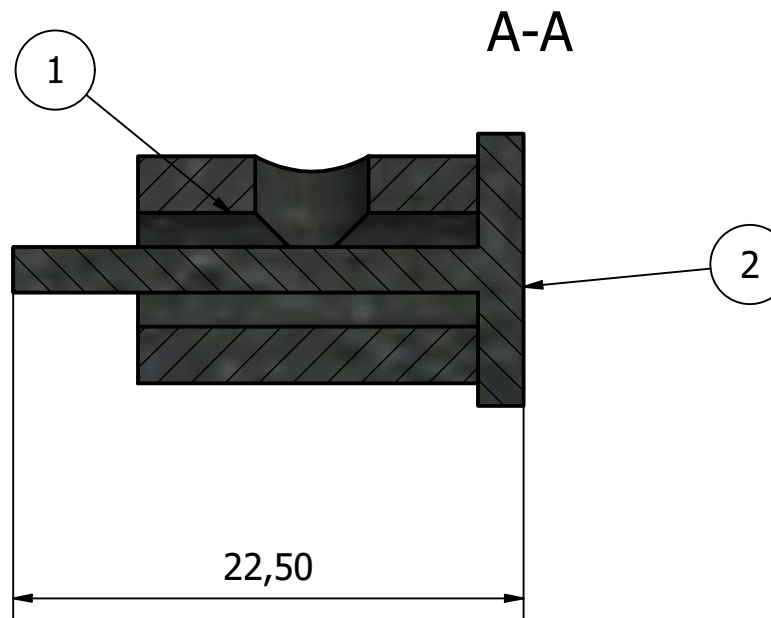
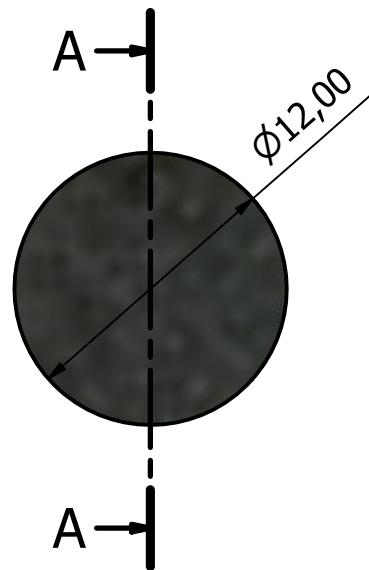
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Pistón de alta presión		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 5
		Firmado: <i>Héctor</i>		



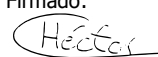
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Whirl cylinder valve		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 6
		Firmado: <i>Héctor</i>		

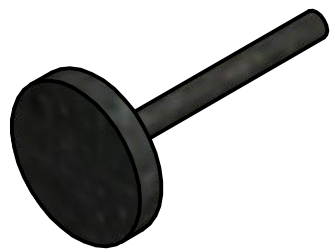
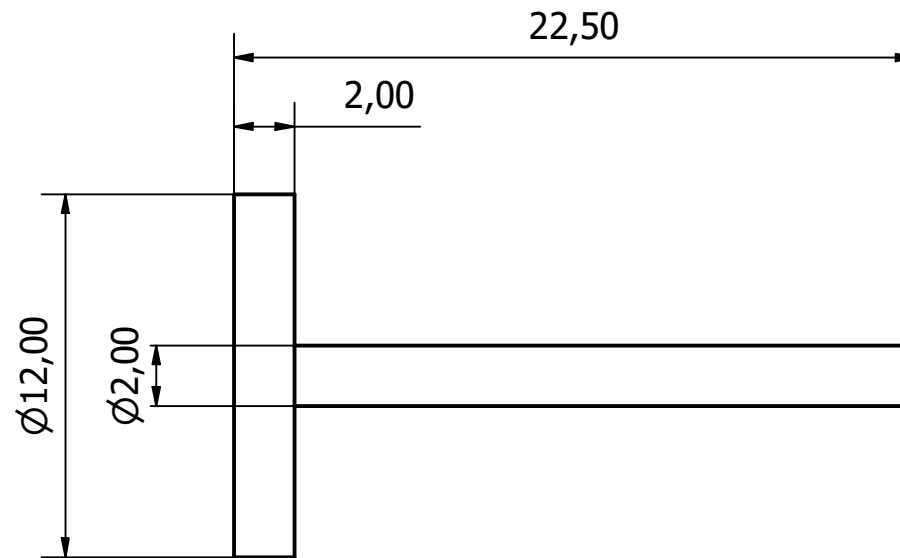


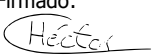
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Cabezal cilindro		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 6
		Firmado: <i>Héctor</i>		

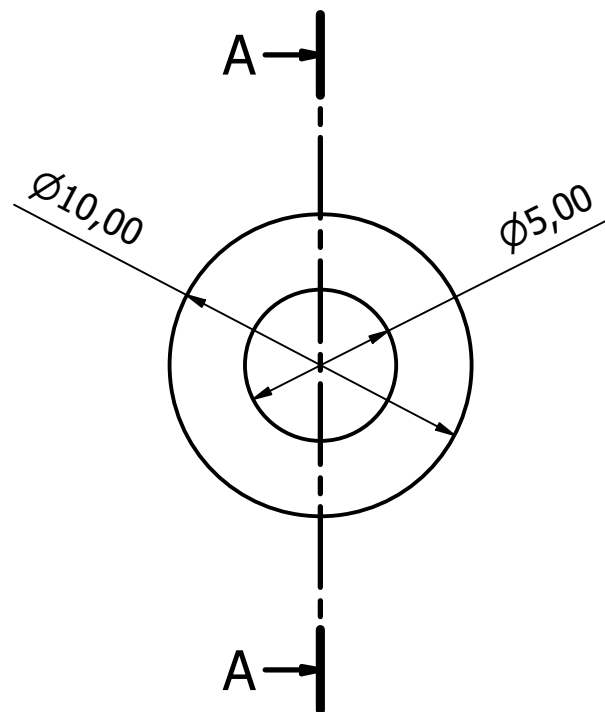


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Soporte
2	1	Tapa

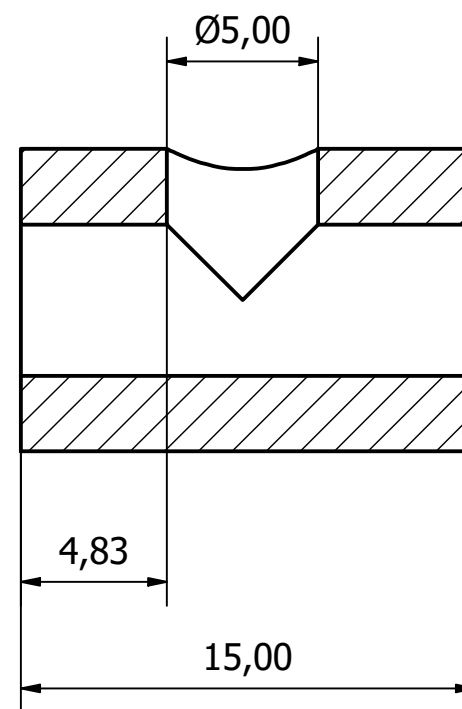
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido	
Universitat Politècnica de Valencia		Ensamblaje Válvula	
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1 Nº de plano: 8 Firmado: 



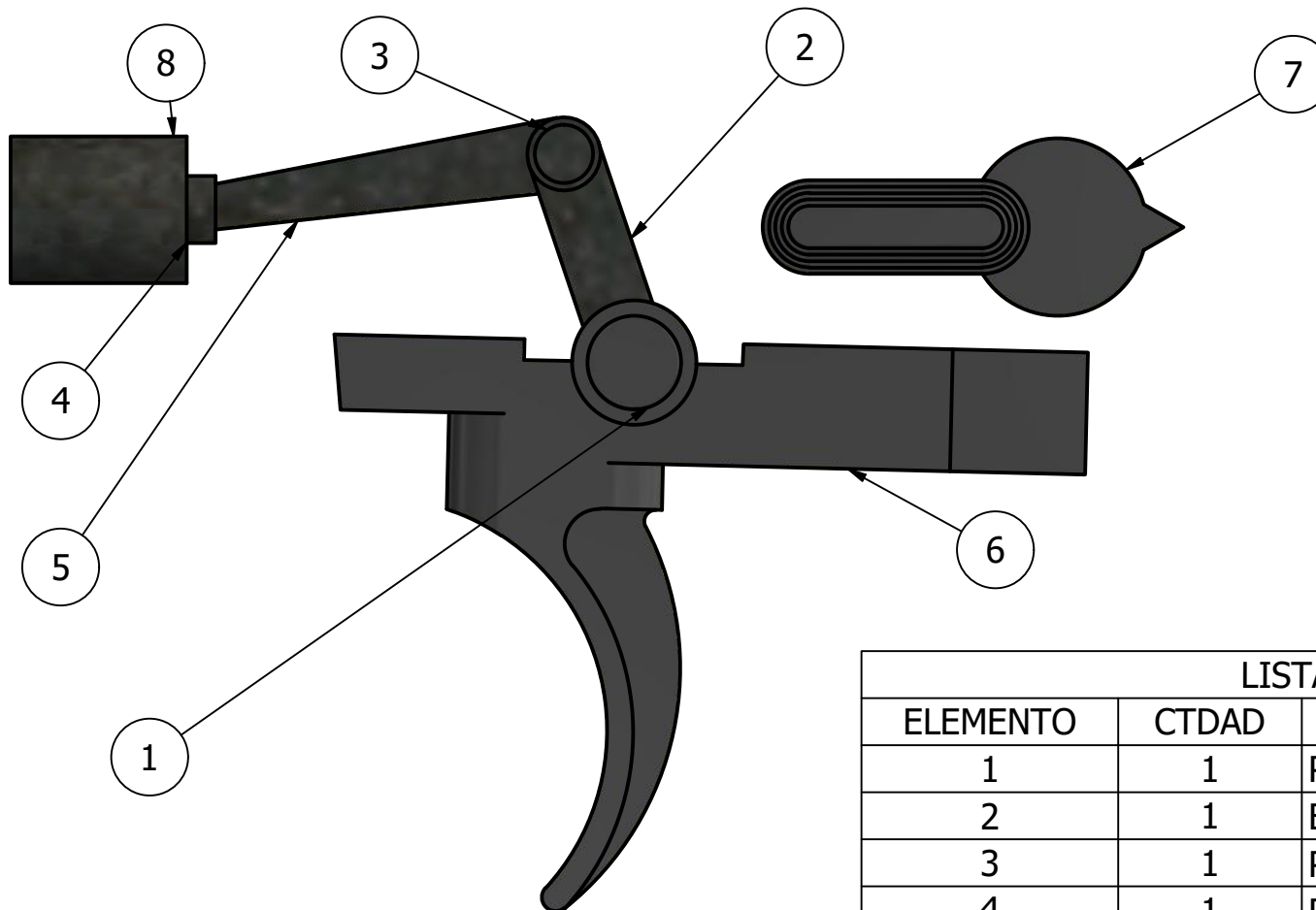
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Tapa		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 9
		Firmado: 		



A-A



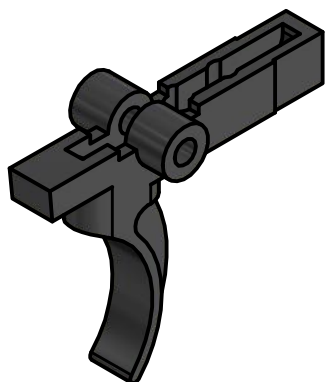
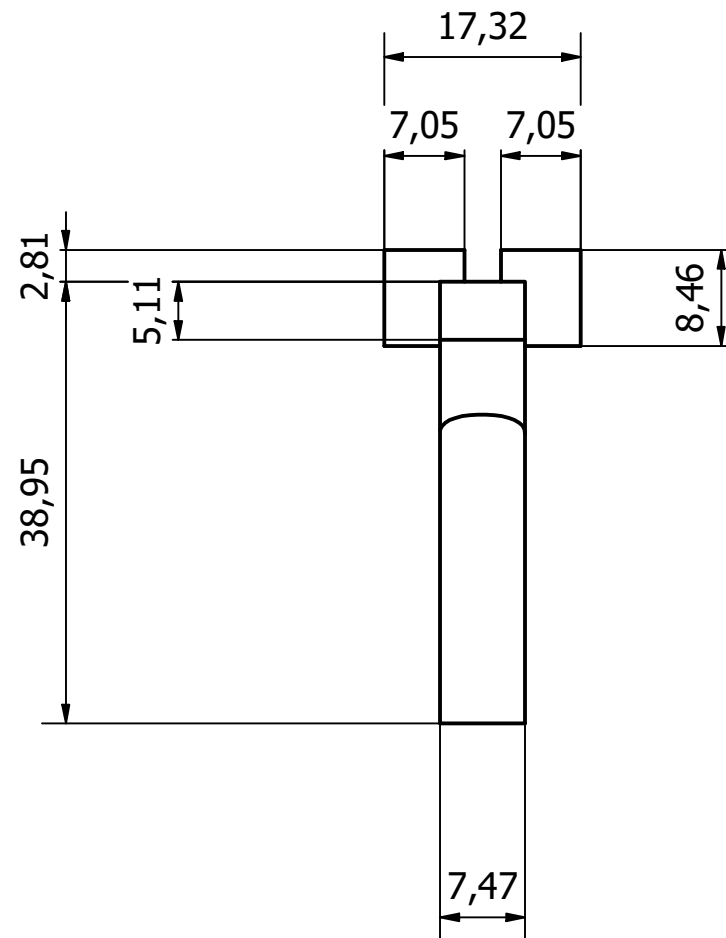
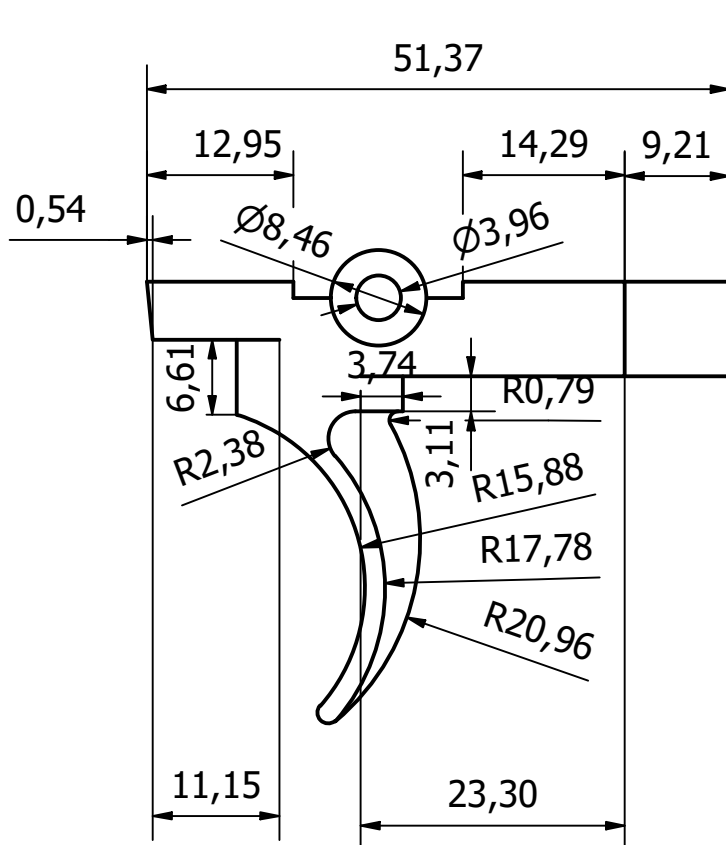
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Cuerpo		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 10
		Firmado: <i>Héctor</i>		



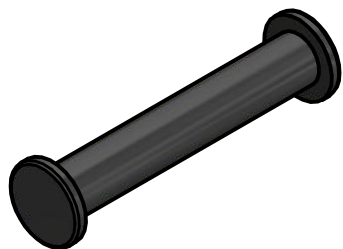
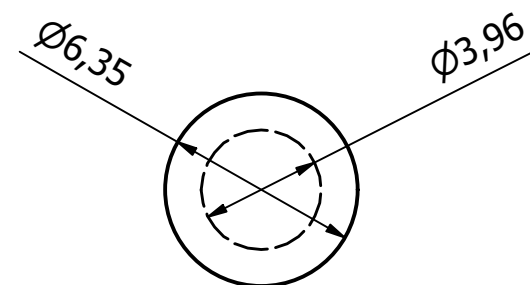
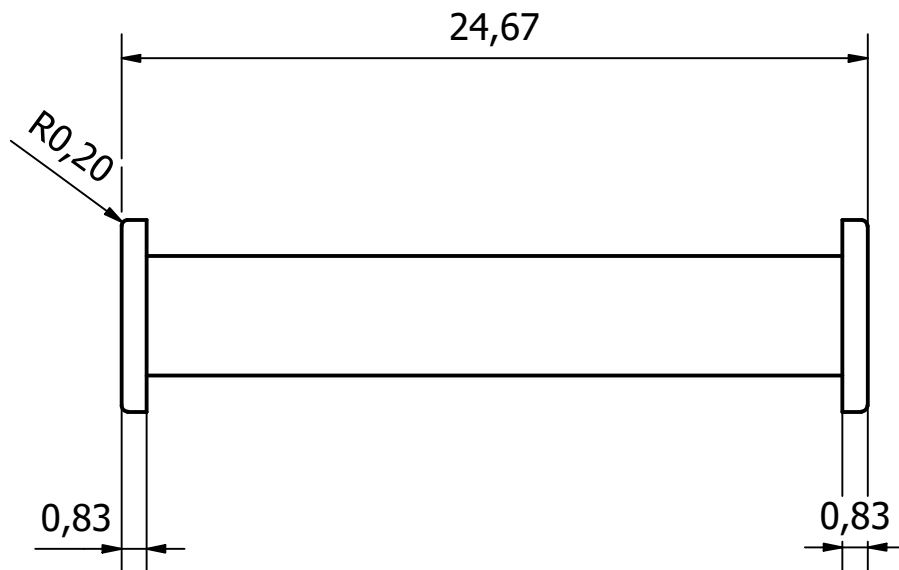
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MATERIAL
1	1	Perno gatillo	Acero
2	1	Biela	Acero
3	1	Perno Manivela-Biela	Acero
4	1	Pistón	Acero
5	1	Manivela	Acero
6	1	Gatillo	Acero
7	1	M4 Seguro	Acero
8	1	Deslizadera	Acero

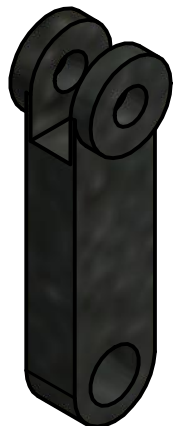
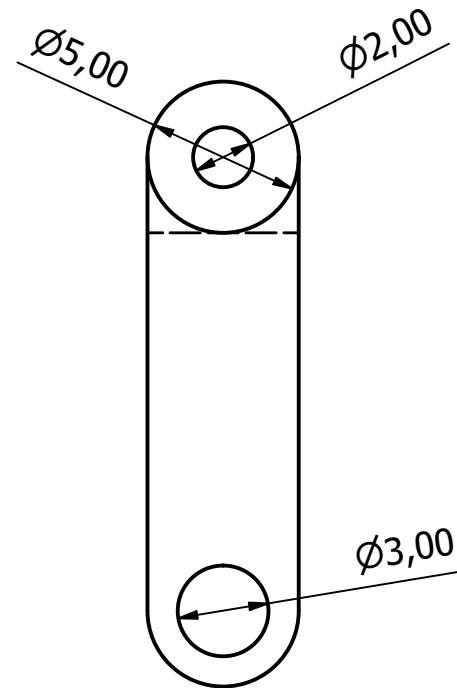
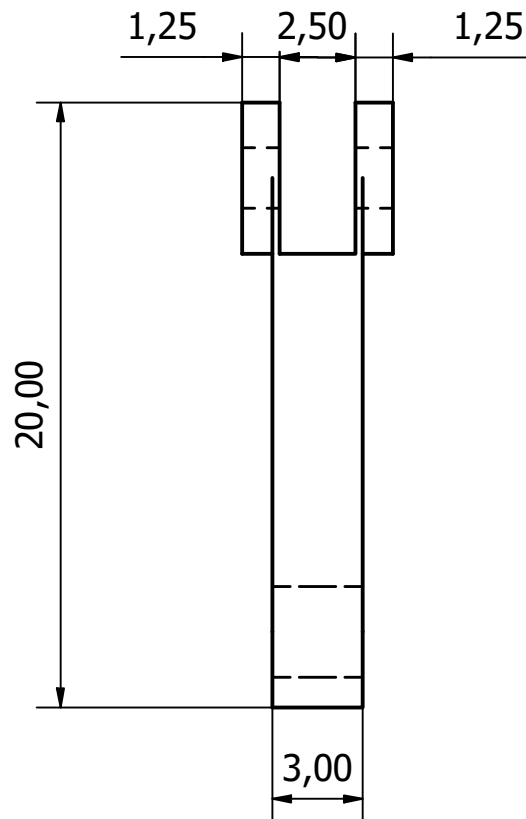
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido	
Universitat Politècnica de Valencia		Mecanismo disparador	
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1
		Nº de plano: 11	Firmado: Héctor



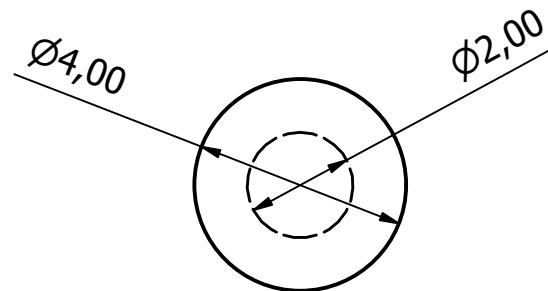
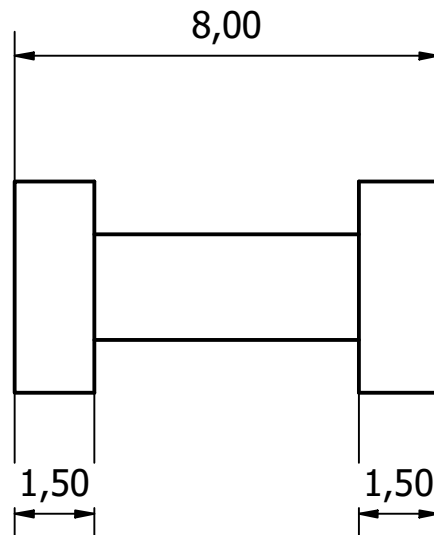
Autor:	Tutor:	Título del proyecto:		
Héctor Giner	Javier Carballeira	Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Gatillo		
		Fecha:	Escala:	Nº de plano:
		12/06/2018	1:1	12
		Firmado: <i>Héctor</i>		



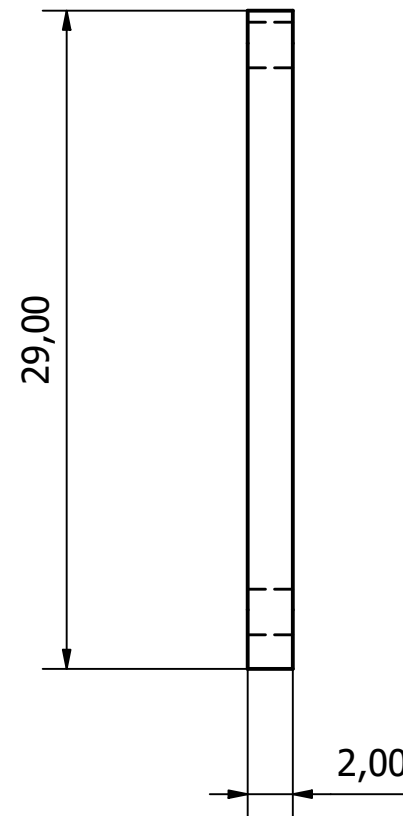
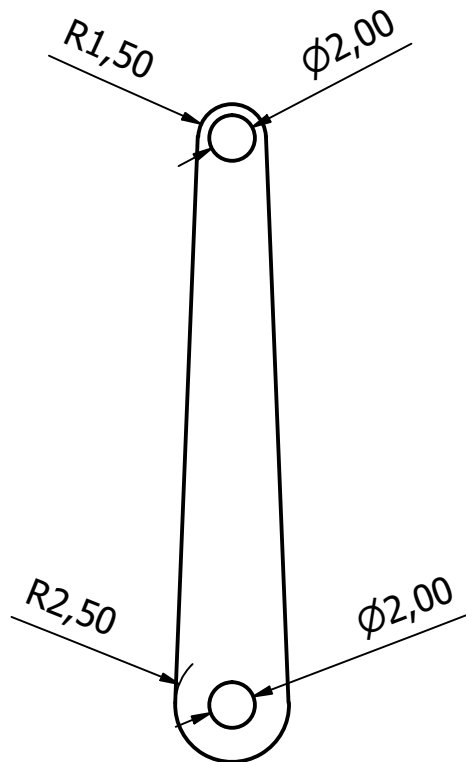
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Perno Gatillo-Manivela		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 13 Firmado: <i>Héctor</i>



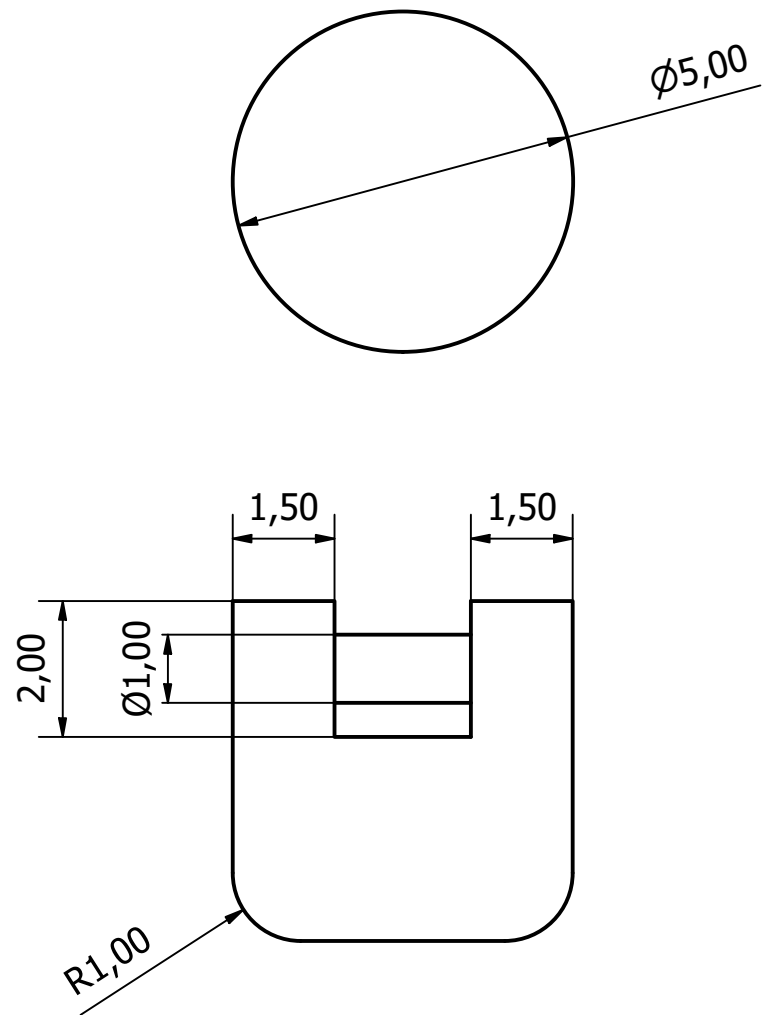
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Manivela		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 14
		Firmado: Héctor		

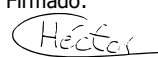


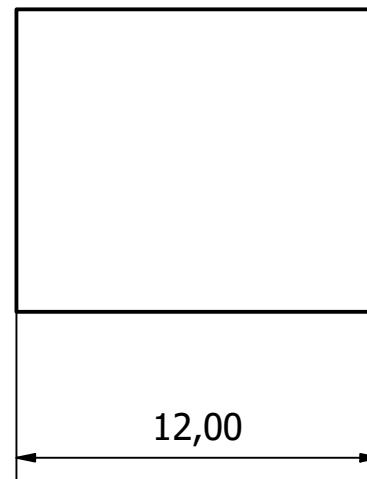
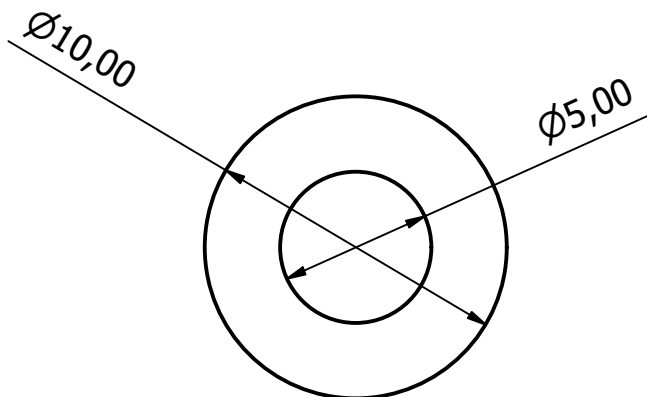
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Perno Manivela-Biela		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 15
		Firmado: <i>Héctor</i>		



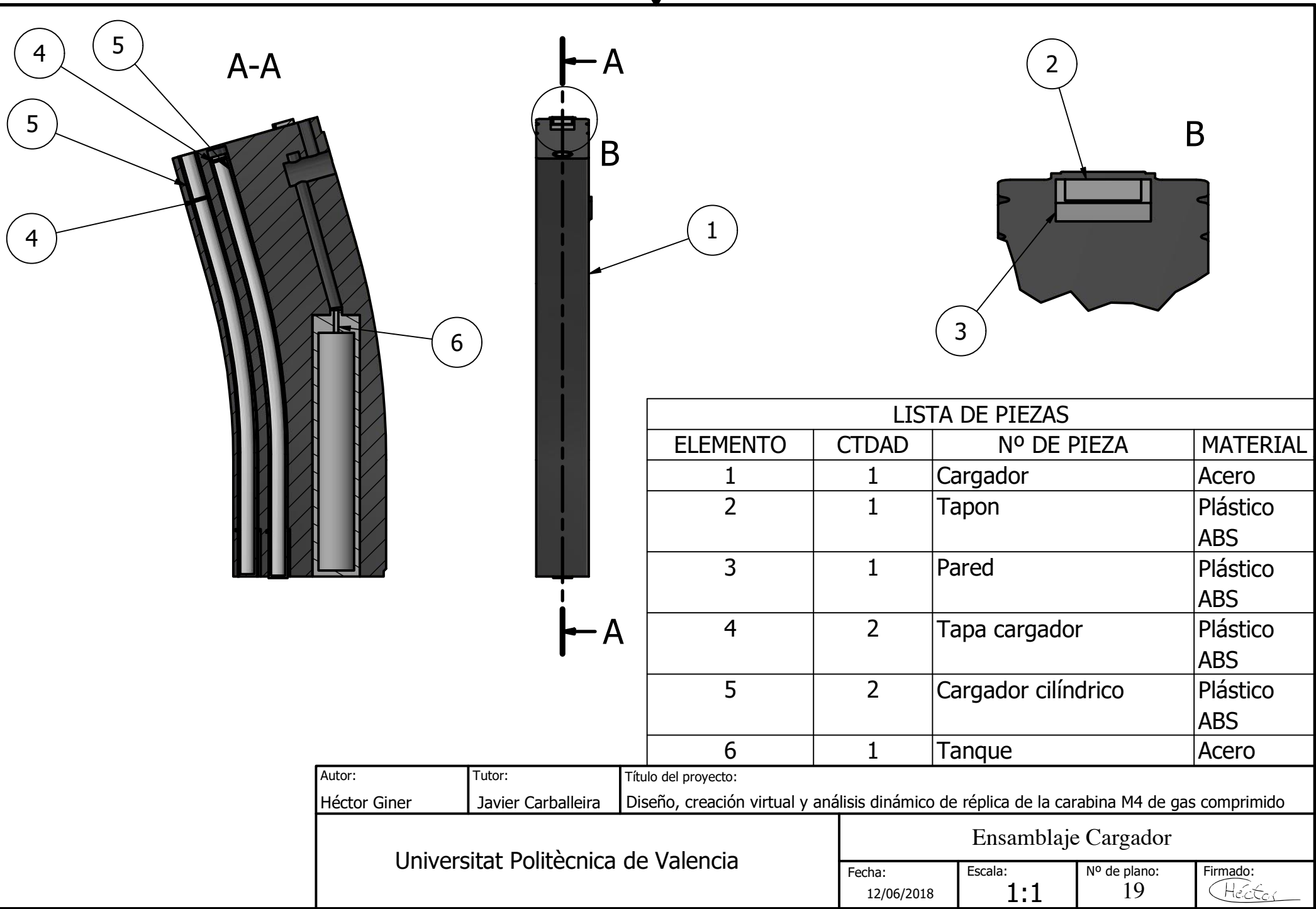
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Biela		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 16
		Firmado: <i>Héctor</i>		

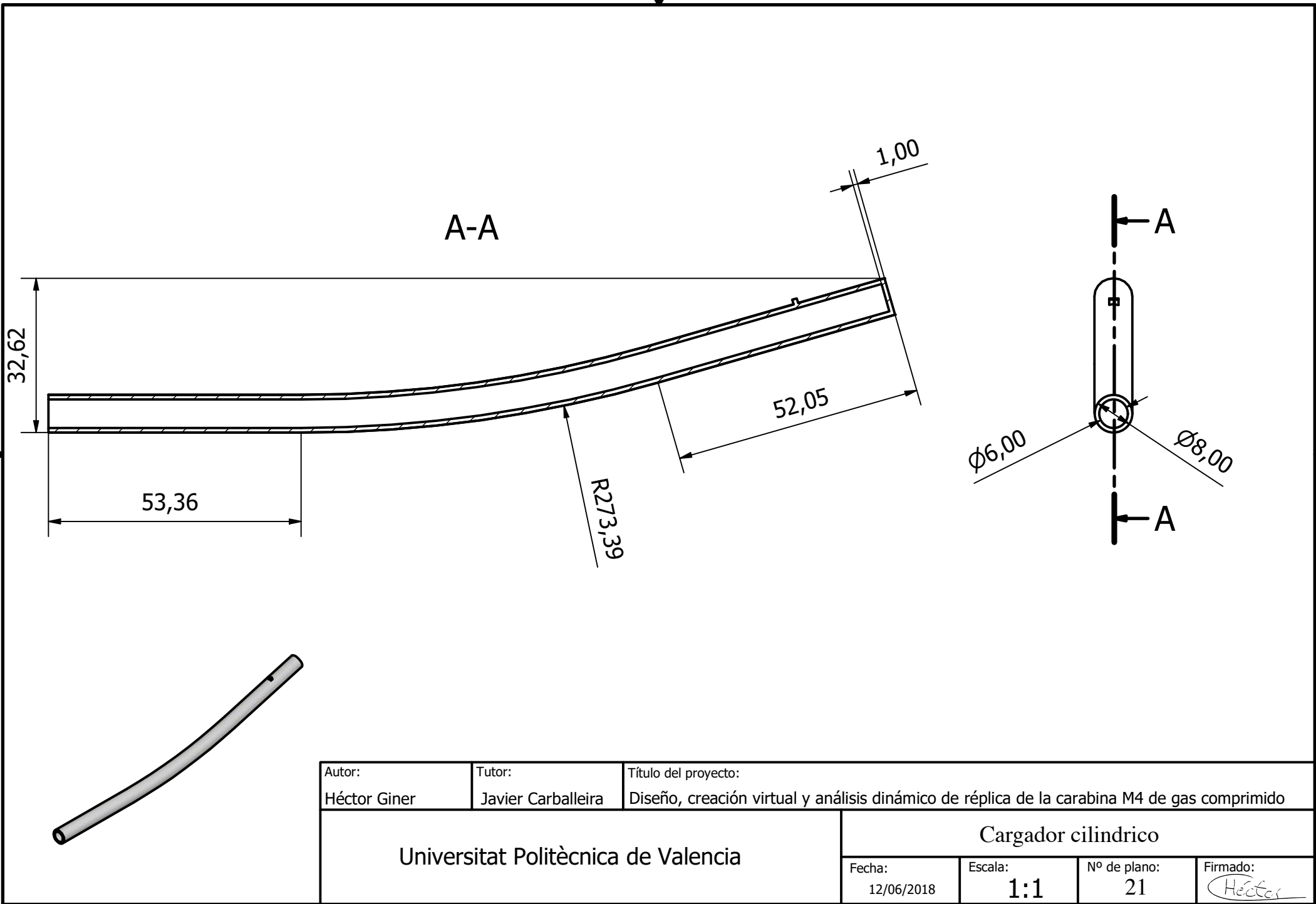


Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido			
Universitat Politècnica de Valencia			Pistón		
			Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 17
			Firmado: 		

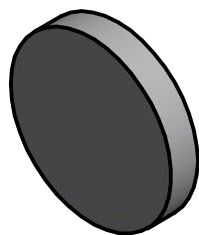
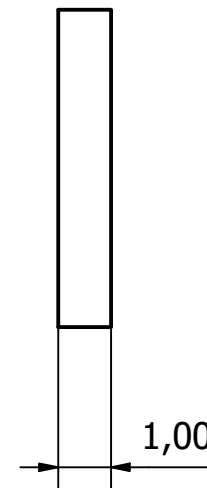
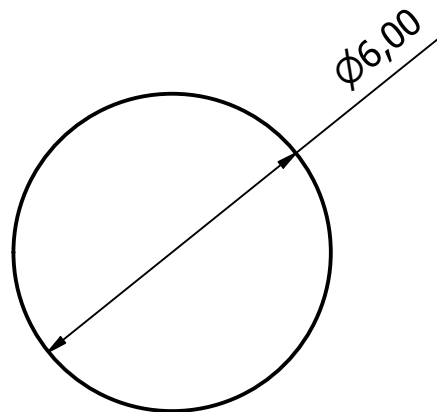


Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Deslizadera		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 18
		Firmado: 		

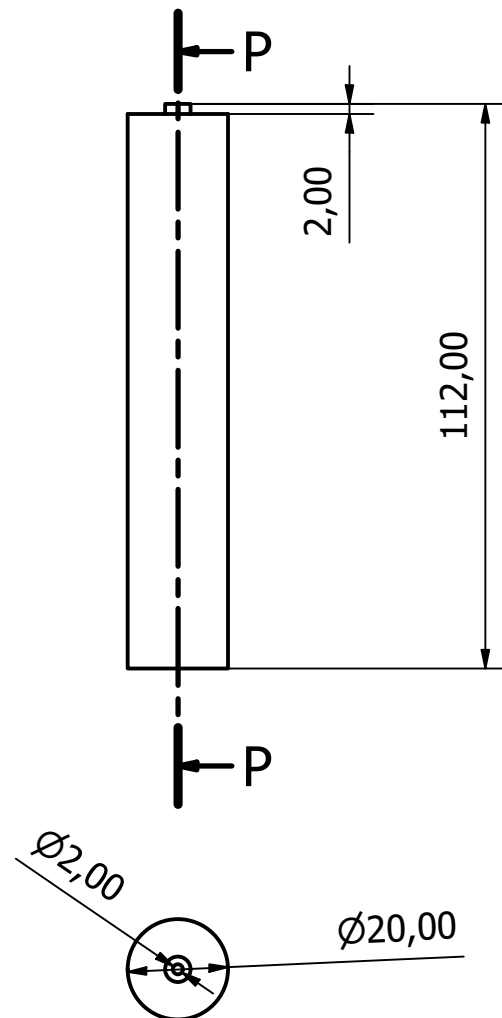
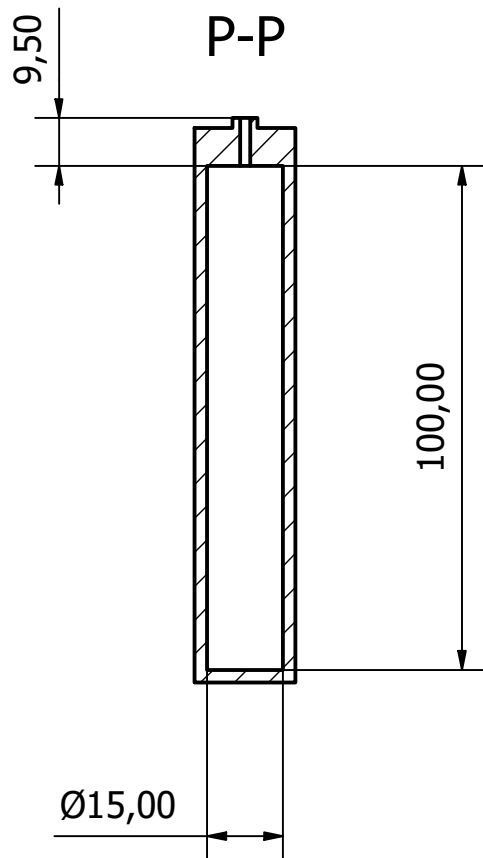




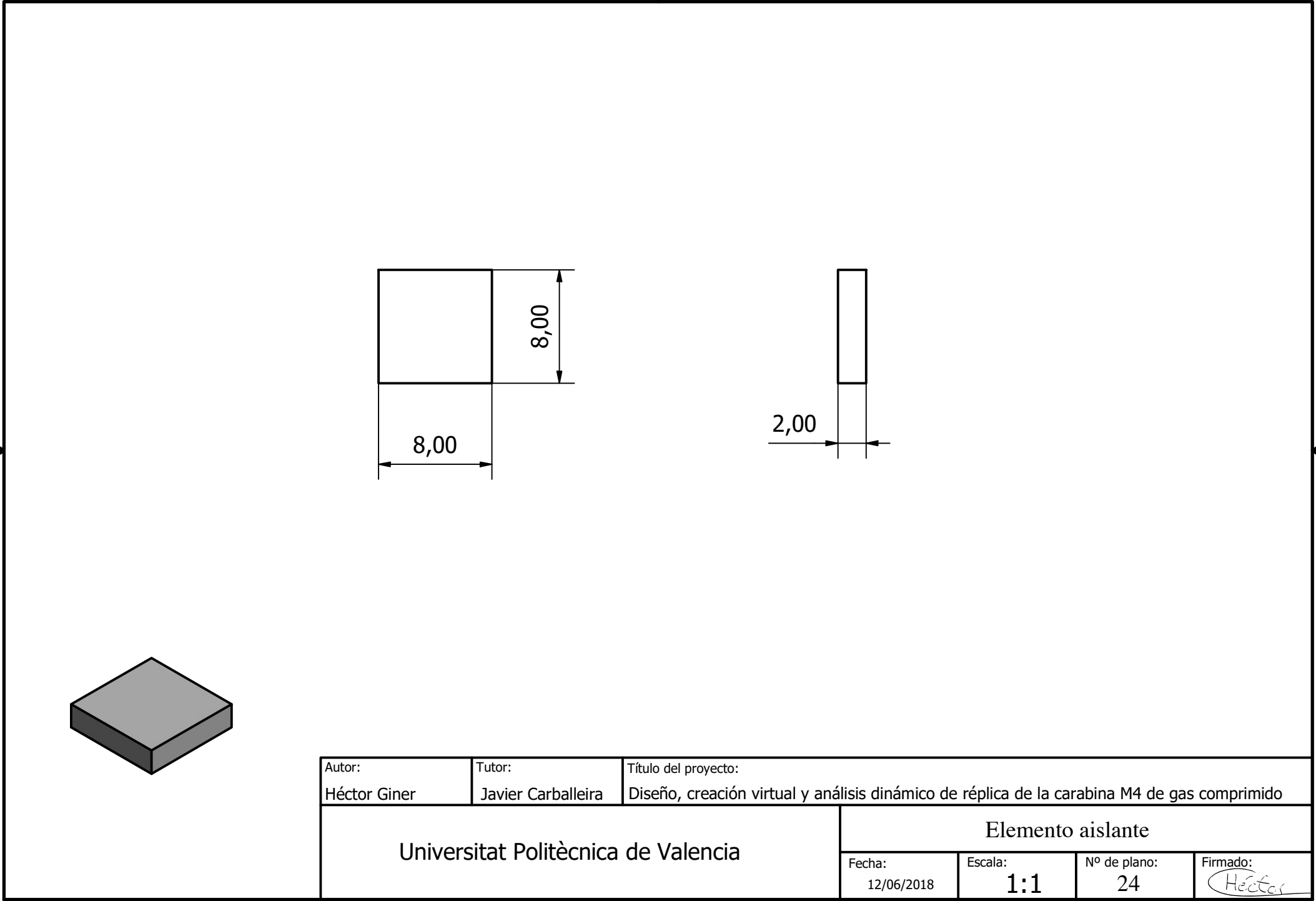
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido			
Universitat Politècnica de Valencia		Cargador cilíndrico			
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 21	Firmado: Héctor

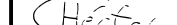


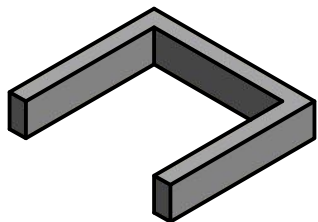
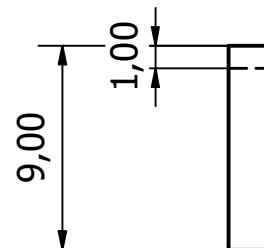
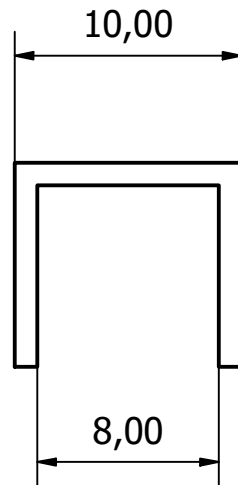
Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Elemento de empuje		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 22
		Firmado: 		



Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Tanque		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 23
		Firmado: 		



Autor:	Tutor:	Título del proyecto:			
Héctor Giner	Javier Carballeira	Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido			
Universitat Politècnica de Valencia		Elemento aislante			
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 24	Firmado: 



Autor: Héctor Giner	Tutor: Javier Carballeira	Título del proyecto: Diseño, creación virtual y análisis dinámico de réplica de la carabina M4 de gas comprimido		
Universitat Politècnica de Valencia		Soporte		
		Fecha: 12/06/2018	Escala: 1:1	Nº de plano: 25
		Firmado: 		

